

# **PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA**

Renato de Carvalho França

Projeto de Graduação apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção de grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.

Rio de Janeiro

Agosto de 2012

## **PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA**

Renato de Carvalho França

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE ENGENHEIRO ELETRICISTA.

Examinada por:

---

Prof. Jorge Luiz do Nascimento, Dr. Eng.  
(Orientador)

---

Prof. Sergio Sami Hazan, Ph.D.

---

Prof. Antonio Carlos Siqueira de Lima, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

AGOSTO de 2012

França, Renato de Carvalho

Projeto de Modernização de Subestação Consumidora / Rio de Janeiro: UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

XIV, 93 p.: il.; 29,7 cm.

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Projeto de Graduação – UFRJ / Escola Politécnica / Departamento de Engenharia Elétrica, 2012.

Referências Bibliográficas: p. 78-81

1. Subestação. 2. Modernização. 3. Normas técnicas  
4. Equipamentos Elétricos

I. Nascimento, Jorge Luiz. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Engenharia Elétrica. III. Título

## **AGRADECIMENTOS**

Aos meus pais, Roberto e Vera, pela contribuição na minha formação como homem, pelo bom exemplo, por todo o incentivo e investimento à minha educação ao longo desses anos. Ao meu irmão, Roberto, pela amizade, confiança e parceria de sempre.

À minha noiva, Sam, pela compreensão e estímulo nessa reta final de curso, sempre me apoiando e dando forças para conseguir meus objetivos.

Aos meus amigos da universidade, pela união e companheirismo durante os estudos e pelos bons momentos vividos nesse período.

Ao meu orientador Prof. Jorge Luiz, pela disponibilidade e contribuição na conclusão deste projeto.

Ao professor Antonio Carlos Siqueira Lima, por esclarecer dúvidas sobre tópicos do trabalho.

A todos da empresa CPRM, principalmente à minha coordenadora Josiane Nogueira, pela oportunidade da primeira experiência profissional e ao Eng. Luciano Baracho, pelo aprendizado da atividade de engenheiro e pela ajuda na execução deste projeto.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica / UFRJ como parte dos requisitos para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

## Projeto de Modernização de Subestação Consumidora

Renato de Carvalho França

Agosto / 2012

Orientador: Jorge Luiz do Nascimento

Curso: Engenharia Elétrica

Este trabalho consiste em um projeto de modernização da subestação principal da empresa CPRM - Serviço Geológico do Brasil. Com o objetivo de coletar informações necessárias à elaboração do projeto, um levantamento das condições físicas e operacionais da subestação foi realizado, através de visitas técnicas ao local, acompanhadas e supervisionadas pelo engenheiro eletricista da empresa, Luciano Baracho. O resultado deste levantamento foi um diagnóstico da situação atual da subestação, onde foi constatado que os equipamentos estavam precários de manutenção, obsoletos em alguns casos e fora dos padrões das normas regulamentadoras em outros. Devido a isso, foi elaborado um projeto de modernização desta subestação, com o objetivo de torná-la mais eficiente, segura e confiável, proporcionando melhores condições para seu funcionamento. Com a instalação de novos equipamentos, a subestação atuará sob a vigência das normas de segurança, atendendo de uma melhor forma, a demanda de energia da empresa.

*Palavras-chave:* 1. Subestação. 2. Modernização. 3. Normas regulamentadoras. 4. Equipamentos Elétricos.

Abstract of Undergraduate Project presented to Poli/UFRJ as a partial fulfillment of requirements for the Degree of Electrical Engineer.

## Modernization Project of Consumer Substation

Renato de Carvalho França

August / 2012

Advisor: Jorge Luiz do Nascimento

Department: Electrical Engineering

This work consists of a project to modernize the CPRM's main substation. Aiming to collect information necessary for the preparation of the project, a survey of the physical and operational conditions of the substation was carried out through technical visits to the site, accompanied and supervised by the electrical engineer of the company, Luciano Baracho. The results of this survey was a diagnosis of the current situation of the substation, where it was found that the equipments were in poor maintenance, outdated and in some cases outside the scope of other regulatory standards. Because of this, a project was designed to modernize this substation, in order to make it more efficient, safe and reliable, providing better conditions for its operation. With the installation of new equipment, the substation will operate under the enforcement of safety standards, attending the energy demand of the company in a better way.

*Keywords:* 1. Substation. 2. Modernization. 3. Regulatory standards. 4. Electrical Equipments.

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	iv
Resumo .....	v
Abstract .....	vi
Sumário .....	vii
Lista de figuras .....	x
Lista de abreviaturas e siglas .....	xiii
<b>Capítulo 1 – Introdução .....</b>	<b>1</b>
1.1. Estrutura e metodologia .....	2
1.2. Resultados esperados .....	3
<b>Capítulo 2 – Fundamentos teóricos .....</b>	<b>4</b>
2.1. Tipos de subestações .....	4
2.2. Equipamentos de uma subestação .....	6
2.3. Normas Técnicas .....	9
<b>Capítulo 3 – Levantamento e diagnóstico da situação atual da subestação consumidora principal .....</b>	<b>12</b>
3.1. Equipamentos de Alta Tensão .....	15
3.1.1. Transformadores de potência .....	15
3.1.2. Disjuntor de média tensão .....	17
3.1.3. Secionadores .....	19
3.1.4. Barramentos, muflas e isoladores .....	22
3.2. Equipamentos de Baixa Tensão .....	25
3.2.1. Painel Geral de Baixa Tensão .....	25
3.2.2. Banco de capacitores .....	27
3.3. Acesso .....	28

3.4. Sinalização .....	30
3.5. Estrutura física .....	31
3.6. Sistema de iluminação .....	33
3.7. Sistema de ventilação .....	34
3.8. Segurança .....	36
3.8.1. Grade de proteção .....	36
3.8.2. Extintores de incêndio .....	37
3.9. Sistema de aterramento .....	37
3.10. Cubículo de medição da concessionária .....	38
3.11. Alguns diagnósticos .....	39
<b>Capítulo 4 – Projeto de modernização da subestação consumidora principal .....</b>	<b>40</b>
4.1. Equipamentos de Alta Tensão .....	40
4.1.1. Transformadores de potência .....	40
4.1.2. Cubículo de média tensão .....	44
4.1.2.1. Secionador de entrada e de saída .....	46
4.1.2.2. Medição da concessionária .....	48
4.1.2.3. Proteção geral com disjuntor a SF6 .....	49
4.1.2.4. Secionador-fusíveis e saída de cabos .....	53
4.2. Equipamentos de Baixa Tensão .....	56
4.2.1. Painel Geral de Baixa Tensão .....	56
4.2.2. Banco de capacitores .....	61
4.2.2.1. Método analítico .....	61
4.2.2.2. Método tabular .....	62
4.3. Acesso .....	66
4.4. Sinalização .....	66
4.5. Estrutura física .....	67



4.6. Sistema de iluminação .....	68
4.7. Sistema de ventilação .....	72
4.8. Segurança .....	73
4.9. Sistema de aterramento .....	73
<b>Capítulo 5 – Conclusão .....</b>	<b>76</b>
<b>Referências bibliográficas .....</b>	<b>78</b>
<b>Anexo I – Planta de Situação .....</b>	<b>82</b>
I.A. Planta de situação .....	83
<b>Anexo II - Plantas da subestação atual .....</b>	<b>84</b>
II.A. Planta baixa da subestação atual .....	85
II.B. Diagrama unifilar da subestação atual .....	86
II.C. Quadro Geral de Baixa Tensão - Atual .....	87
<b>Anexo III – Plantas da subestação modernizada .....</b>	<b>88</b>
III.A. Planta baixa da subestação modernizada .....	89
III.B. Diagrama unifilar da subestação modernizada .....	90
III.C. Painel Geral de Baixa Tensão – subestação modernizada .....	91
III.D. Sistema de aterramento .....	92
III.E. Planta de Iluminação .....	93

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Transformador de potência 1, com isolamento a óleo mineral, 300 kVA ...	15
Figura 2 – Transformador de potência 2, com isolamento a óleo mineral, 300 kVA ...	16
Figura 3 – Placa dos transformadores: (a) transformador 1; (b) transformador 2 .....	17
Figura 4 – Disjuntor de média tensão a pequeno volume de óleo, 17,5 kV .....	17
Figura 5 – Reprodução da placa de dados do disjuntor de média tensão .....	18
Figura 6 – Relés primários de proteção, 300A .....	18
Figura 7 – Secionador de comando unipolar do transformador de potência 1 .....	19
Figura 8 – Secionador de comando unipolar do transformador de potência 2 .....	20
Figura 9 – Secionador de comando tripolar de média tensão de entrada .....	20
Figura 10 – Secionador tripolar de média tensão de saída para a subestação nº 2 .....	21
Figura 11 – Secionador tripolar de média tensão de saída para a subestação nº 3 .....	21
Figura 12 – Posicionamento da alavanca de acionamento do secionador principal .....	22
Figura 13 – Barramentos de média tensão da subestação, com três fases .....	22
Figura 14 – Mufla de média tensão de entrada, 15 kV .....	23
Figura 15 – Mufla de média tensão – subestação nº 2, 15 kV .....	23
Figura 16 – Mufla de média tensão – subestação nº 3, 15 kV .....	23
Figura 17 – Isoladores de cerâmica encontrados na subestação .....	24
Figura 18 – Conjunto de muflas e barramentos desativados .....	24
Figura 19 – Visão frontal do painel de baixa tensão .....	26

Figura 20 – (a) Chaves de operação do painel; (b) amperímetros, voltímetros e luzes indicadoras de funcionamento .....	26
Figura 21 – Visão traseira do painel de baixa tensão .....	27
Figura 22 – Bancos de capacitores fixos, instalados sobre o painel de baixa tensão ....	27
Figura 23 – Reprodução da placa de dados do banco de capacitores .....	28
Figura 24 – Porta principal da subestação .....	28
Figura 25 – Porta de emergência da subestação .....	29
Figura 26 – Rampa de acesso na entrada da subestação .....	29
Figura 27 – Vista da área externa da subestação .....	30
Figura 28 – Placa de sinalização de perigo, na porta da subestação .....	30
Figura 29 – Placa de sinalização da seccionadora referente à subestação nº 3 .....	31
Figura 30 – Teto da subestação .....	31
Figura 31 – Piso da subestação .....	32
Figura 32 – Equipamentos obsoletos dentro da subestação .....	32
Figura 33 – Sistema de iluminação: lâmpada incandescente .....	33
Figura 34 – Sistema de iluminação: lâmpada incandescente e eletroduto de metal .....	33
Figura 35 – Exaustor: (a) vista interna; (b) vista externa .....	34
Figura 36 – Chave magnética de acionamento do sistema de ventilação .....	34
Figura 37 – Ventilação natural: (a) janela frontal; (b) janelas laterais .....	35
Figura 38 – Saídas de ar para ventilação: (a) transformador 1; (b) transformador 2 .....	35
Figura 39 – Grade de proteção metálica .....	36
Figura 40 – Extintores de incêndio a base de CO <sub>2</sub> : (a) internos; (b) externo .....	37

Figura 41 – Cordoalha de aço para aterramento das partes metálicas e para-raios poliméricos .....	38
Figura 42 – Cubículo de medição de energia da concessionária Light .....	38
Figura 43 – Transformador de potência a seco (Resimold) [21] .....	43
Figura 44 – Secionador sob carga e chave de terra [20] .....	47
Figura 45 – Disjuntor de média tensão a gás SF6 (SF1) [20] .....	50
Figura 46 – Relé de proteção eletrônico (Sepam 20) [20] .....	51
Figura 47 – Sensor LPCT (CLP2) [20] .....	52
Figura 48– Painel geral de baixa tensão (Blokset) [19] .....	61
Figura 49 – Tabela para definição do fator multiplicador para cálculo da potência do banco de capacitores [26] .....	62
Figura 50 – Capacitores (Varplus <sup>2</sup> ) [18] .....	64
Figura 51 – Controlador automático (Varlogic) [18] .....	65
Figura 52 – Tabela para determinação do fator de utilização para luminárias de lâmpadas fluorescentes [16] .....	69
Figura 53 – Curva para determinação do fator de depreciação de [16] .....	69
Figura 54 – Luminária tipo “tartaruga” [1] .....	71
Figura 55 – Luminária de emergência [28] .....	71
Figura 56 – Exaustor axial monofásico [25] .....	72

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

° C	Graus Celsius – unidade de temperatura
$\Omega$	Ohm - unidade de medida da resistência elétrica
A	Ampère – unidade de medida de corrente elétrica
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANP	Agência Nacional do Petróleo
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
dB	Decibel – unidade logarítmica
F	Farad – unidade de capacitância
FP	Fator de potência
GVO	Grande Volume de Óleo
HP	<i>Horse Power</i> – unidade de medida de potência equivalente a 745,7 W
Hz	Hertz – unidade de frequência
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IP	<i>International Protection</i> - Grau de proteção para invólucros de equipamentos elétricos
kg	Quilograma – unidade de massa
LAMIN	Laboratório de Análises Minerais
LPCT	Transdutor de corrente de baixa potência

lm	Lúmen – unidade de fluxo luminoso
lux	Lux – unidade de iluminância
m	Metro – unidade de medida de distância
NA	Contato normalmente aberto
NBR	Norma Brasileira – aprovada pela ABNT
NF	Contato normalmente fechado
NR	Norma Regulamentadora
PVO	Pequeno Volume de Óleo
QDLF	Quadro de Distribuição de Luz e Força
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
RECON MT	Regulamentação para o fornecimento de energia elétrica a consumidores atendidos em média tensão – Light S.A.
s	Segundo – unidade de tempo
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
TSI	Tensão suportável de impulso
TTA	<i>Type Tested Assembly</i>
V	Volt – unidade de tensão elétrica
VA	Volt-ampère – unidade de medida de potência elétrica aparente
VAr	Volt-ampère-reactivo – unidade de medida de potência elétrica reativa
W	Watt – unidade de medida de potência elétrica ativa
ZnO	Óxido de zinco

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Subestação é uma instalação elétrica responsável por transmitir e distribuir a energia elétrica. Pode ser localizada próxima ao centro de geração, transmissão ou distribuição, dependendo de suas características e conta com equipamentos capazes de realizar transformações em tensões e correntes para valores adequados de uso, manobras e proteção de linhas. Por isso, é considerada parte fundamental para o funcionamento do sistema elétrico.

Uma subestação elétrica deve ter seus equipamentos operando dentro de suas condições nominais, com manutenções periódicas para permitir que a mesma esteja sempre funcionando corretamente. Quando uma subestação opera em condições inadequadas, pode acarretar grandes problemas: risco de explosões, avarias nos equipamentos de média tensão, possibilidades de curto-circuito, custos elevados com manutenção e interrupção da energia elétrica são apenas alguns dos problemas que podem ocorrer.

A maior justificativa para a realização deste projeto foi perceber a subestação principal da empresa CPRM - Serviço Geológico do Brasil, em péssimas condições de funcionamento. Devido à falta de manutenção corretiva e preventiva, a subestação encontra-se atualmente em situação caótica, totalmente fora dos padrões normativos vigentes, expondo não só os funcionários ao risco, como todo o sistema elétrico da empresa.

A finalidade deste trabalho de final de curso é apresentar um projeto de modernização da subestação principal da empresa, colocando-a em condições aceitáveis de operação, obedecendo às normas reguladoras, diminuindo custos com manutenção e oferecendo segurança e confiabilidade a todo o sistema elétrico e, principalmente, a todos os funcionários da empresa. O resultado deste trabalho serve apenas como referência técnica para auxiliar um futuro projeto básico, não levando em consideração o orçamento.

## 1.1. ESTRUTURA E METODOLOGIA

A estrutura deste trabalho está dividida em cinco capítulos e três anexos. Primeiramente, são introduzidos os fundamentos teóricos para entender o funcionamento de uma subestação. A seguir, é apresentada a atual situação da subestação principal da CPRM e, posteriormente, seu projeto de modernização.

O segundo capítulo apresenta os principais conceitos de uma subestação de energia elétrica. Um pouco da história, os tipos, as funções e os equipamentos que a compõe são apresentados. As normas mais utilizadas para a atuação em uma subestação também são descritas.

No terceiro capítulo é feito o levantamento e o diagnóstico da situação atual da subestação principal, com descrição dos equipamentos existentes, suas condições de funcionamento, apoiados nas normas regulamentadoras vigentes e através de registros fotográficos. A estrutura física e as outras partes da subestação, tais como: acesso, segurança e sinalização também são analisados do mesmo modo, permitindo conhecer os problemas a serem resolvidos.

No quarto capítulo, depois de identificar e conhecer os problemas, é apresentada uma proposta de projeto de modernização da subestação. Para cada equipamento proposto, são listadas as características técnicas necessárias para o equipamento atender ao projeto. Após esse passo, uma relação de fabricantes que atendem às especificações é sugerida, explicitando suas principais características e diferenças para auxiliar na escolha do melhor equipamento. Por fim, uma opção é escolhida e justificada.

No quinto capítulo, uma conclusão é apresentada, com análises e comentários sobre o trabalho. Também são apresentadas sugestões para futuros trabalhos.

Por fim, as referências bibliográficas são listadas conforme as normas da ABNT. As plantas do projeto estão inseridas em 3 anexos: I, II e II.



## **1.2. RESULTADOS ESPERADOS**

Com a elaboração deste projeto, espera-se uma contribuição para a futura reforma da subestação, com a apresentação de uma proposta de alto nível: mais segura, confiável, dentro das normas regulamentadoras, com equipamentos mais modernos e reduzindo a necessidade de manutenção preventiva periódica nos equipamentos, permitindo um melhor desempenho do sistema elétrico da empresa.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Há aproximadamente 100 anos, a primeira subestação era instalada. No início, os equipamentos presentes nas subestações, além de serem volumosos e ocuparem muito espaço, não proporcionavam confiabilidade ao sistema, que frequentemente apresentavam defeitos e, por consequência, interrupção do fornecimento de energia elétrica.

Com o passar dos anos, a evolução das subestações acompanhou o desenvolvimento da tecnologia pelo mundo. Nos anos 60, com o surgimento da isolação a gás, as subestações se tornaram cada vez mais compactas, ocupando menos espaço físico. Os equipamentos foram diminuindo de tamanho, poluindo menos o meio ambiente, necessitando de pouca ou nenhuma manutenção e hoje se pode até controlar todo seu funcionamento sem mesmo estar presente nela, através da utilização da automação.

A tendência é que as subestações continuem a se tornar, com o passar dos anos, mais compactas, eficientes e com menor custo, tanto de instalação (atualmente elas já vem testadas e prontas de fábrica), quanto de manutenção.

#### 2.1. TIPOS DE SUBESTAÇÕES

As subestações, dependendo de sua localização e funcionalidade, podem ser de vários tipos. A seguir, estão listados os principais tipos de subestações [8]:

- Subestação central de transmissão: instaladas próximas ao centro de geração. São equipadas com transformadores elevadores de tensão, com a função de aumentar os níveis de tensão de modo a permitir a transmissão de energia em alta tensão, reduzindo custos de materiais (cabos e estruturas).

- Subestação receptora de transmissão: instaladas entre os centros de geração e de distribuição. Normalmente, mantém o mesmo nível de tensão do sistema e possuem a função de interligação entre a subestação central de transmissão e a subestação de distribuição. Podem ser utilizadas para seccionar circuitos elétricos, isolando partes do sistema.
- Subestação de subtransmissão distribuidora: instaladas próximas ao centro de carga. Sua função é reduzir a tensão e distribuir a energia elétrica para os transformadores de distribuição ou para as subestações consumidoras. Por isso, podem ser chamadas também de subestação de distribuição.
- Subestação consumidora: instaladas em propriedade particular. São alimentadas em média tensão proveniente das subestações distribuidoras e equipadas com transformadores abaixadores que reduzem a tensão para níveis adequados ao uso dos consumidores, em baixa tensão.

As subestações também podem ser classificadas através das seguintes formas [2;4]:

Quanto à instalação:

- Ao tempo ou externa: são aquelas que ficam ao ar livre, sujeitas a intempéries como vento, chuva, poluição. Por isso, os equipamentos instalados devem possuir condições específicas para operação neste tipo de ambiente.
  - Abrigada ou interna: são aquelas construídas em locais abrigados, ou seja, não são expostas ao tempo. Este tipo de subestação é normalmente utilizado próximo ao centro de carga.
  - Blindadas: são aquelas onde todos os equipamentos de alta/média tensão estão protegidas por invólucros metálicos. São os tipos de subestação mais compactos do mercado, indicados para locais com pouca disponibilidade de espaço físico (nos centros de cargas).
- Quanto à sua funcionalidade:
    - Transformadora: são aquelas que transformam os níveis de tensão, aumentando-os ou reduzindo-os. Podem ser divididas em dois tipos:

- Abaixadora: normalmente são localizadas próximas ao centro de carga, pois reduzem os valores de tensão para atender a distribuição;
- Elevadora: normalmente são localizadas próximas à geração, pois elevam os valores de tensão para serem transmitidos ao longo das linhas, visto a vantagem econômica de se realizar a transmissão em alta tensão.
- Secionadora ou de manobra: são aquelas que seccionam ou manobram circuitos elétricos, com a função de isolar uma parte do sistema para manutenção de linhas, evitar a propagação do defeito ou controlar o fluxo de potência. Mantém o mesmo nível de tensão da rede, podendo interligar linhas de transmissão.
- Quanto à sua tensão de operação:
  - Baixa tensão: possuem níveis de tensão inferiores a 1 kV;
  - Média tensão: possuem níveis de tensão entre 1 e 34,5 kV;
  - Alta tensão: possuem níveis de tensão entre 34,5 e 230 kV;
  - Extra-alta tensão: possuem níveis de tensão superiores a 230 kV;

## 2.2. EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO

Em uma subestação elétrica, podem ser encontrados os equipamentos responsáveis pela atuação no sistema elétrico. Os principais são: transformadores, disjuntores, relés, para-raios, seccionadores, barramentos e isoladores.

Os transformadores podem ser divididos em dois grupos: transformadores de potência e de instrumentos.

Os transformadores de potência são os equipamentos que transformam os níveis de tensão, sendo fundamentais para diminuição de perdas e dos custos da transmissão de energia. São instalados em subestações próximas à geração, elevando o nível de tensão para a transmissão em alta tensão e próximas ao centro de carga, reduzindo a tensão para a distribuição primária e secundária. Podem ser classificados quanto ao seu sistema de isolamento: isolamento a óleo mineral ou isolamento a seco. A vida útil de um

transformador de potência é de 20 a 30 anos, dependendo das condições de sua operação e manutenção ao longo dos anos [10].

Os transformadores de instrumentos são equipamentos que realizam uma redução proporcional de corrente e tensão para permitir compatibilidade com equipamentos de medição (amperímetros, voltímetros) e proteção (relés). Isso possibilita uma padronização desses equipamentos, diminuindo os custos de fabricação. Outra função importante desses transformadores é isolar o circuito de baixa tensão do circuito de alta tensão. Os dois tipos de transformadores de instrumentos são: transformadores de corrente (TCs) e transformadores de potencial (TPs) [11;12].

Os disjuntores são equipamentos destinados a promover a interrupção e o restabelecimento das correntes elétricas num determinado ponto do circuito. Eles são construídos para operar em condições normais e anormais de corrente e tensão, com a maior rapidez possível. Atuam em conjunto com os relés de proteção. Estes enviam comandos para a abertura do disjuntor, em caso de curto-circuito no sistema, e para seu fechamento quando o defeito é corrigido. Os disjuntores podem ser classificados quanto à interrupção do arco elétrico, gerado pela separação dos seus contatos no momento de sua abertura, como: disjuntores a óleo (GVO – Grande Volume de Óleo ou PVO – Pequeno Volume de Óleo), a sopro magnético, a ar comprimido, a vácuo e a gás SF<sub>6</sub>. Além disso, podem ser acionados por sistema de mola, de solenoide, a ar comprimido ou hidráulico. Sua vida útil está relacionada às condições do meio isolante utilizado para extinção do arco elétrico [9;13].

Os relés são sensores utilizados para a proteção do sistema elétrico. Eles possuem sensibilidade para identificar eventuais defeitos e devem atuar com rapidez e eficiência, tanto enviando alertas aos operadores da subestação quanto sinais para a abertura dos disjuntores. Assim, o defeito é isolado não comprometendo o restante do sistema elétrico, garantindo maior estabilidade e confiabilidade. Por isso, os relés são considerados os elementos mais importantes do sistema de proteção. Existem diversos tipos de relés: os relés de sobrecorrente instantâneo (50) e temporizado (51), sobretensão (59), subtensão (27), de distância (21), térmico (49), entre outros [7].

Os para-raios são equipamentos destinados à proteção do sistema elétrico. Eles atuam quando ocorre uma sobretensão devido a uma descarga atmosférica,

descarregando-a para a terra, evitando danos aos equipamentos da instalação. O tipo de para-raios mais utilizado é o de óxido de zinco [9].

Os seccionadores, ou chaves seccionadoras como foram designadas pela norma NBR 6935/85, são dispositivos de manobra capazes de seccionar circuitos elétricos, seja para isolar parte do sistema no caso de defeitos ou por operação. Quando a chave se encontra na posição fechada, ela garante a continuidade do circuito, enquanto na posição aberta, garante uma distância segura de isolamento entre os contatos. Podem ser operados em carga ou não, dependendo da função que esteja exercendo na subestação. Podem ainda possuir comando unipolar ou em grupo (tripolar) e ser usados em ambientes internos ou externos. Sua vida útil varia com a quantidade de manobras realizadas, que está relacionada com sua corrente nominal de operação [14].

Os isoladores são equipamentos capazes de suportar os esforços mecânicos e elétricos de equipamentos de uma instalação. Podem ser instalados em suspensão ou fixados para apoio dos condutores e fabricados utilizando cerâmica, vidro ou polímeros sintéticos [10].

Em subestações consumidoras, além dos equipamentos de alta/média tensão acima descritos, encontram-se equipamentos de baixa tensão como, por exemplo, os bancos de capacitores e o painel de baixa tensão.

Os bancos de capacitores são equipamentos utilizados para promover a correção do fator de potência em unidades consumidoras. Quando instalados no sistema, os capacitores “injetam” na rede elétrica potência capacitiva, que tem por efeito “anular” a potência reativa indutiva que está inserida na rede, devido aos motores ligados a ela. Com isso, a maior parte da potência gerada é convertida em potência ativa, útil para o funcionamento dos equipamentos dos consumidores, melhorando a qualidade da energia do sistema. O resultado é o aumento do fator de potência, deixando-o próximo do valor unitário, que é o ideal. Podem ser fixos, programáveis ou automáticos.

O painel de baixa tensão é um quadro de distribuição responsável por receber a tensão rebaixada dos transformadores e distribuir para os quadros de cargas das unidades consumidoras. São compostos por disjuntores, gerenciadores de energia, banco de capacitores, barramentos principal e secundário.

## 2.3. NORMAS TÉCNICAS

As principais normas aplicáveis para subestações, utilizadas para a composição deste trabalho, são:

- **ABNT NBR 14039** – *Instalações Elétricas de Média Tensão de 1,0 kV a 36,2 kV*: esta Norma estabelece um sistema para o projeto e execução de instalações elétricas de média tensão, com tensão nominal de 1,0 kV a 36,2 kV, à frequência industrial, de modo a garantir segurança e continuidade de serviço.
- **ABNT NBR 5410** – *Instalações Elétricas de Baixa Tensão*: esta Norma estabelece as condições a que devem satisfazer as instalações elétricas de baixa tensão, a fim de garantir a segurança de pessoas e animais, o funcionamento adequado da instalação e a conservação dos bens.
- **ABNT NBR 5356** – *Transformadores de potência*: esta Norma é dividida em 5 partes e aplica-se a transformadores trifásicos e monofásicos (inclusive autotransformadores), excetuando-se certas categorias de pequenos transformadores e transformadores especiais.
- **ABNT NBR 10295** – *Transformadores de potência secos – Especificação*: esta Norma estabelece requisitos aplicados a transformadores de potência secos, com tensão máxima de equipamento igual ou inferior a 36,2 kV.
- **ABNT NBR 6856** – *Transformador de corrente*: esta Norma fixa as características de desempenho de transformadores de corrente (TC) destinados a serviço de medição e proteção.
- **ABNT NBR 6855** – *Transformador de potencial indutivo*: esta Norma fixa as características de desempenho de transformadores de potencial indutivos (TPI) destinados a serviço de medição, controle e proteção.
- **ABNT NBR IEC 62271-102** – *Equipamentos de alta-tensão – Parte 102: seccionadoras e chaves de aterramento*: esta Norma aplica-se aos seccionadores e chaves de aterramento em corrente alternada, projetados para uso interno, externo ou dentro de invólucros, para tensões de 1000 V e frequência de serviço até e incluindo 60 Hz.

- **ABNT NBR 15751:2009** – *Sistemas de aterramento de subestações – Requisitos*: esta Norma especifica os requisitos para dimensionamento do sistema de aterramento de subestação de energia elétrica, acima de 1 kV, quando sujeitos a solicitações em frequência industrial.

- **ABNT NBR 13571:1996** – *Haste de aterramento aço-cobreada e acessórios – Especificação*: esta Norma fixa os requisitos mínimos exigíveis para hastes de aterramento aço-cobreadas e seus acessórios, utilizados em instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, em instalações elétricas industriais, comerciais, rurais, prediais e residenciais em geral, instalações de telecomunicação e centro de processamento de dados e outros.

- **NR-10 – Norma Reguladora 10** – *Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*: esta Norma estabelece os requisitos e condições mínimas objetivando a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos, de forma a garantir a segurança e saúde dos trabalhadores que, direta ou indiretamente, interajam em instalações elétricas e serviços com eletricidade.

A empresa CPRM, ao propiciar a realização do estágio supervisionado, corroborou com o desenvolvimento deste trabalho dando a oportunidade de acompanhar o funcionamento de uma subestação. Nesta empresa existem três subestações consumidoras que atendem a demanda de energia necessária para o seu funcionamento. O objeto de estudo será a subestação principal da empresa, que recebe a alimentação da concessionária.

Esta subestação, que também pode ser chamada de nº 1, encontra-se em condições inadequadas de funcionamento. Alguns equipamentos estão com seu bom funcionamento comprometidos, devido à falta de manutenção frequente, como o painel de baixa tensão. Em outros casos, sem adequação às normas atuais em vigência, os equipamentos encontram-se fora dos padrões normativos, como os transformadores e disjuntores de média tensão. A iluminação e a ventilação forçada da subestação também apresentam problemas e precisam ser refeitas.



Por isso, é necessária uma reforma nesta subestação. Este projeto apresentará uma proposta de modernização da subestação principal da empresa.

## CAPÍTULO 3

### LEVANTAMENTO E DIAGNÓSTICO DA SITUAÇÃO ATUAL DA SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA PRINCIPAL

Como mencionado no capítulo anterior, este trabalho trata de um projeto de modernização da subestação consumidora principal, nº 1, pertencente à empresa CPRM – Serviço Geológico do Brasil.

A Companhia de Pesquisas de Recursos Minerais é uma empresa governamental brasileira, vinculada ao Ministério de Minas e Energia, que tem atribuições do serviço geológico do Brasil, tais como: levantamentos geológicos, levantamentos geofísicos, levantamentos hidrogeológicos, gestão de informação geológica, avaliação de recursos minerais e análises químicas e minerais. A subestação localiza-se no complexo do escritório do Rio de Janeiro, na Avenida Pasteur, número 404, bairro da Urca, cidade do Rio de Janeiro.

Para atender à empresa, existem três subestações no complexo. Elas estão localizadas de acordo com a planta de situação, em anexo a este trabalho (Anexo I).

A subestação principal ou nº 1 é a responsável por receber a alimentação da concessionária de energia elétrica, onde se encontra o cubículo de medição da Light. Atende principalmente ao Laboratório de Análises Minerais – LAMIN, onde são realizados estudo *in loco* de águas minerais, exames bacteriológicos, preparação de amostra para rochas, solos e sedimentos, análise de substâncias voláteis e não voláteis, entre outros. Esta subestação também atende ao Centro de Saúde Ocupacional (Bloco B), onde se encontram o Posto Médico e o escritório da Segurança do Trabalho; o prédio da Paleontologia (Bloco D); a Associação de Ex-funcionários da CPRM; a cantina e a oficina da empresa. Suas características são listadas a seguir:

- Abrigada;
- Média tensão;
- Transformadora abaixadora: 13,8 kV : 220/127 V;

- Capacidade instalada: 600 kVA, dividida em 2 transformadores de 300 kVA que trabalham em paralelo;
- Cubículo de medição da Light.

A subestação nº 2 localiza-se dentro do bloco A3 e é responsável por abastecer os blocos A2, A3, A4, A5 e A6 (bloco desativado devido a um incêndio ocorrido nos anos 70), uma pequena parte do bloco A1, além do restaurante e da creche da empresa. No bloco A4, situa-se um escritório da Agência Nacional do Petróleo, que possui metade da capacidade instalada da subestação para seu atendimento. Nesta subestação, o lado de alta tensão é separado do lado de baixa tensão por uma parede. A passagem dos cabos dos transformadores ao QGBT é dada por eletrocalhas instaladas através de vãos nessa parede. As características da subestação nº 2 são:

- Abrigada;
- Média tensão;
- Transformadora abaixadora: 13,8 kV : 220/127 V;
- Capacidade instalada: 2 MVA, dividida em 2 transformadores de 500 kVA cada, para atendimento à CPRM e 1 transformador independente de 1 MVA para abastecimento do escritório da ANP.

A subestação nº 3 localiza-se dentro do bloco A1, onde estão situadas a Presidência e as diretorias da empresa assim como os principais departamentos e divisões, tais como: contabilidade, jurídico, engenharia e arquitetura, informática, geofísica, hidrologia, entre outros. Durante o período de desenvolvimento deste trabalho, esta subestação encontrava-se em processo de reforma. As características da subestação nº 3 são:

- Abrigada;
- Média tensão;
- Transformadora abaixadora: 13,8 kV : 220/127 V;
- Capacidade instalada: 600 kVA, dividida em 2 transformadores de 300 kVA que trabalham em paralelo.

As três subestações conseguem suprir toda a carga demandada pela empresa. Por se tratar de uma empresa com diversas salas de escritório, as principais cargas

encontradas são microcomputadores, impressoras, scanners, plotters, aparelhos de ar condicionado, elevadores e iluminação fluorescente. As cargas mais pesadas encontradas são alimentadas pela subestação nº 1, pois conforme já foi mencionado anteriormente, abastece o LAMIN, com a presença de muitas máquinas de alta potência, compressores, estufas e a oficina, onde há máquinas de solda, serras elétricas e outros equipamentos.

O projeto de modernização visa melhorar as condições de funcionamento da subestação nº 1 por esta ser a receptora da alimentação da concessionária, abrigando a medição de energia e por abastecer o prédio do LAMIN. Este prédio abriga equipamentos de custo elevado, de precisão e de alta calibragem necessários para a realização de pesquisas e o fornecimento de energia elétrica não deve ser interrompido para que os estudos não sejam prejudicados com o desligamento dos aparelhos por falta de energia devido ao funcionamento inadequado da subestação.

Para conseguir sucesso na elaboração de um projeto, primeiro é necessário conhecer o local. Por isso, foi realizado um levantamento e um diagnóstico da atual situação da subestação nº 1, que será apresentado a seguir. Cada equipamento será analisado e descrito as suas condições de funcionamento, apoiado nas normas vigentes e através de registro fotográfico. As outras partes da subestação como segurança, sinalização e estrutura física também serão avaliados, permitindo conhecer a verdadeira situação da subestação e oferecendo subsídios para o projeto de modernização.

Esse levantamento foi realizado com o acompanhamento de um engenheiro eletricista e de segurança do trabalho, adotando os procedimentos básicos para a visita em uma subestação.

### 3.1. EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO

#### 3.1.1. Transformadores de Potência

Conforme citado acima, nesta subestação há dois transformadores de potência, ambos com potência nominal de 300 kVA e isolamento a óleo mineral. Apesar de serem bem antigos, os transformadores ainda estão em bom estado de funcionamento. Eles são projetados para atuarem em paralelo.

Para facilitar a identificação dos transformadores, eles serão nomeados da seguinte forma, de acordo com a planta de disposição dos equipamentos da subestação (Anexo II.A):

- Transformador de potência 1 (Figura 1): localizado mais próximo do cubículo de medição da Light;
- Transformador de potência 2 (Figura 2): localizado no lado direito do transformador de potência 1.

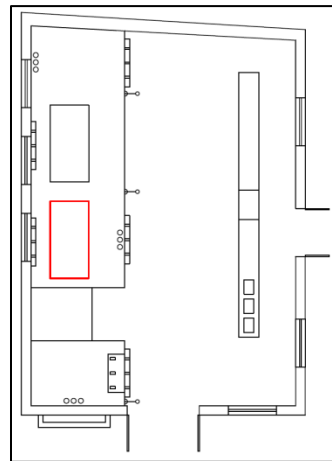


Figura 1 – Transformador de potência 1, com isolamento a óleo mineral, 300 kVA.



Figura 2 – Transformador de potência 2, com isolamento a óleo mineral, 300 kVA.

Os maiores problemas apresentados pelos transformadores são: ausência de proteção em caso de incêndio e de contenção do óleo em caso de vazamento. Pelo fato do óleo mineral ser inflamável, existe o risco de explosão. Por isso é necessário a construção de paredes do tipo “corta-fogo” para evitar a propagação de fogo dentro da subestação. Com as atuais leis ambientais, é preciso também a existência de uma bacia de contenção do óleo, para o caso de vazamento, e de uma caixa separadora de água e óleo. Porém, não é possível encontrar nenhuma dessas prevenções na subestação, o que infringe as normas brasileiras. Além disso, pela norma NBR 14039, não é permitida a utilização de transformadores com refrigeração a óleo mineral em subestações transformadoras que façam parte de edificação residencial, comercial ou industrial, sendo recomendado o uso de transformadores do tipo a seco.

A visualização dos dados de placa dos transformadores está prejudicada (Figura 3). Primeiramente, os cabos de baixa tensão que vão até o painel estão se sobrepondo as placas, dificultando assim a leitura dos dados. Além disso, mesmo se aproximando da grade de proteção na tentativa de uma melhor visualização, algo que não deve ser feito em hipótese nenhuma pelo fato de estarem no lado de alta tensão, algumas informações já estão totalmente ou quase todas apagadas, em virtude do tempo, inviabilizando assim, ter conhecimento dos dados de placa.

Portanto, é possível apenas saber que se trata de dois transformadores com isolamento a óleo mineral, com potência nominal de 300 kVA, da marca SIEMENS.



Figura 3 – Placa dos transformadores: (a) transformador 1; (b) transformador 2.

### 3.1.2. Disjuntor de Média Tensão

O disjuntor de média tensão a pequeno volume de óleo, atualmente em uso na subestação (Figura 4), apresenta boas condições de operação e possui as seguintes especificações (Figura 5):

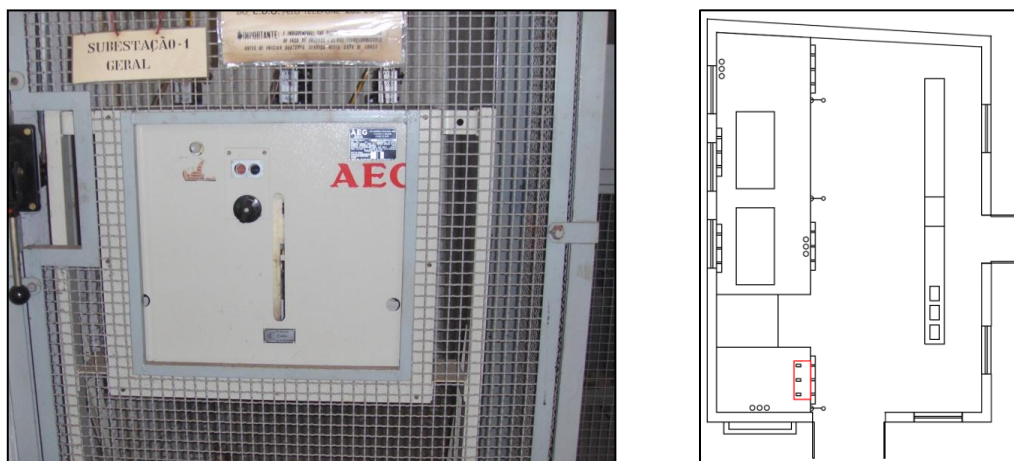


Figura 4 – Disjuntor de média tensão a pequeno volume de óleo, 17,5 kV.

<b>DISJUNTOR DE MÉDIA TENSÃO – AEG – PEQUENO VOLUME DE ÓLEO</b>					
<b>TIPO</b>	DSF 356/17		<b>NBI</b>	110 kV	
<b>I<sub>NOMINAL</sub></b>	630 A	<b>V<sub>NOMINAL</sub></b>	17,5 kV	<b>Frequência</b>	60 Hz
<b>Corrente admissível durante 1 s</b>			20 kA		
<b>Potência de interrupção simétrica</b>			350 MVA a 13,8 kV		
<b>Peso</b>	113 (145) kg		<b>Volume de Óleo</b>	0,9 litros/polo	

Figura 5 – Reprodução da placa de dados do disjuntor de média tensão.

Assim como no caso dos transformadores, não há nenhum recipiente para contenção do óleo no caso de vazamento e, conforme já foi referido, não segue as regulamentações vigentes.

Sua proteção de entrada é feita apenas por relés primários de 300A, da marca AEG (Figura 6). Como a subestação em estudo possui uma capacidade instalada de 600 kVA, é necessária a presença de relés secundários com as funções 50 (instantâneo) e 51 (temporizado), segundo o RECON MT e a norma NBR 14039. A regulamentação permite o uso apenas de relés primários de fase e neutro onde a capacidade de transformação da subestação é de no máximo 300 kVA.

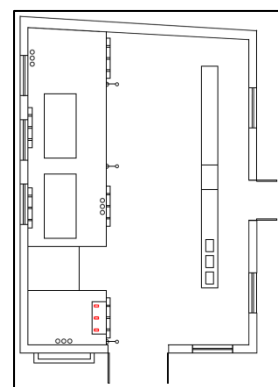


Figura 6 – Relés primários de proteção, 300A.

Outro ponto onde o disjuntor de média tensão viola a norma da concessionária é em relação à sua posição. Segundo o RECON MT, a posição do disjuntor de média



tensão deve ser a jusante do cubículo de medição. Na configuração atual da subestação, o disjuntor está localizado a montante da medição (pode ser conferido através do diagrama unifilar da subestação, no anexo II.B).

### 3.1.3. Secionadores

Na subestação, existem cinco seccionadores, ou chaves seccionadoras como eram chamadas anteriormente. Todos possuem classe de isolamento de 15 kV, corrente nominal de 400 A e capacidade de interrupção de corrente de 10 kA.

Três desses seccionadores são referentes às entradas das subestações, enquanto os outros dois são referentes aos transformadores instalados. Foram realizados testes de resistência ôhmica de isolamento em todos os seccionadores, pela empresa T&T, utilizando um megôhmetro da marca Megabrás, modelo MI 5500, e todos se encontram dentro do valor mínimo necessário. Também foram medidas as correntes e a resistência de contato das seccionadoras, através de um microhmímetro digital, marca INSTRUN, modelo KB-10S, e todos os valores encontrados são plenamente aceitáveis.

- Secionadores dos transformadores (Figuras 7 e 8): os seccionadores referentes aos transformadores de 300 kVA são de comando unipolar, estando fora dos padrões estabelecidos pela norma NBR 14039. A norma estabelece que todos os seccionadores devem ser de comando em grupo, ou seja, todas as fases devem ser seccionadas ao mesmo tempo. Outro ponto negativo é a não existência do bastão para realização da manobra na chave.

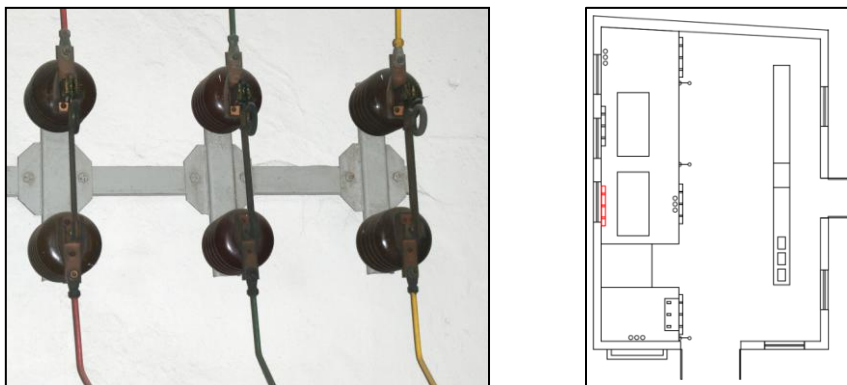


Figura 7 – Secionador de comando unipolar do transformador de potência 1.

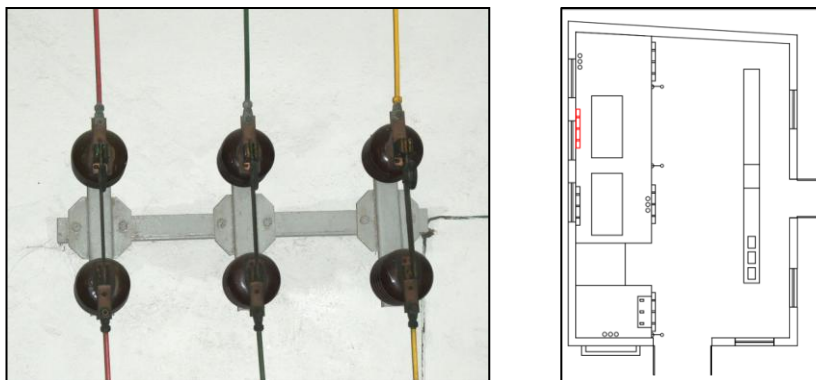


Figura 8 – Secionador de comando unipolar do transformador de potência 2.

- Secionadores de média tensão (Figuras 9, 10 e 11): todos os secionadores de média tensão, referentes às três subestações, são de comando em grupo e possuem punho de manobra para seu acionamento. Não existem placas de identificação dos secionadores, dificultando a operação numa eventual manutenção ou defeito. Além disso, não é possível saber se as chaves operam ou não sob carga, pois não existe nenhuma indicação para tal, o que contraria a norma NBR 14039.

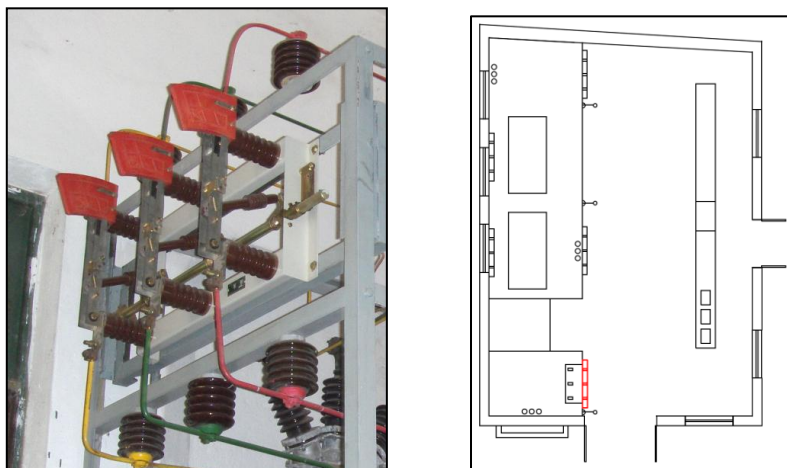


Figura 9 – Secionador de comando tripolar de média tensão de entrada.

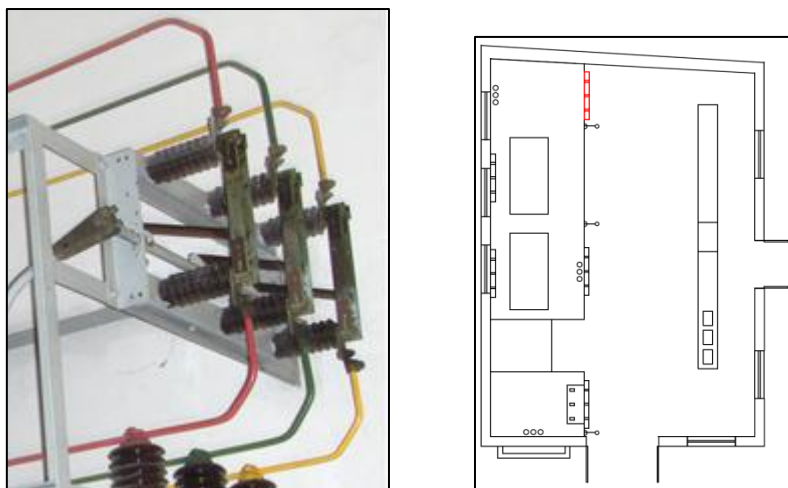


Figura 10 – Secionador tripolar de média tensão de saída para a subestação nº 2.

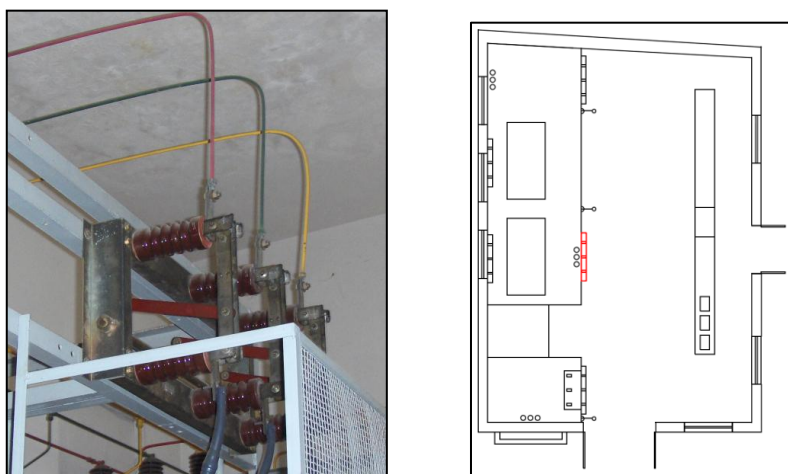


Figura 11 – Secionador tripolar de média tensão de saída para a subestação nº 3.

Apenas o secionador principal contém uma placa com seus dados, porém esta se encontra na estrutura metálica próxima a chave, o que inviabiliza sua leitura sem a utilização de uma escada, algo que deve ser terminantemente proibido, com o risco de queda para o lado de alta tensão.

A alavanca de acionamento do secionador principal, referente à subestação nº 1, está muito próxima do disjuntor de média tensão, podendo provocar um curto-circuito (Figuras 12). O mesmo deve ser realocado em outro ponto da grade de proteção e deve ser devidamente identificado, de modo a facilitar seu manuseio.

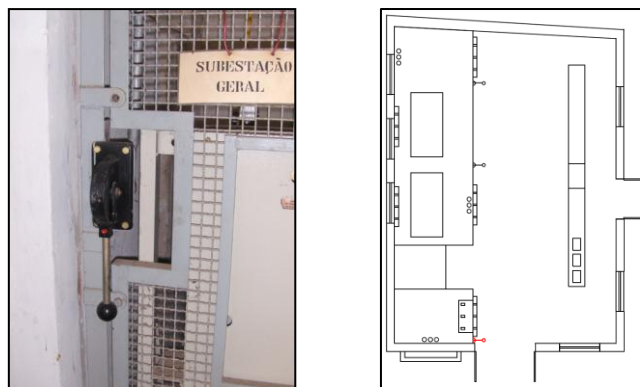


Figura 12 – Posicionamento da alavanca de acionamento do seccionador principal.

Nenhuma das três alavancas de manobra dos seccionadores possui mecanismo de bloqueio, existindo a possibilidade de alguém acionar acidentalmente a alavanca de manobra durante uma manutenção, colocando os trabalhadores em perigo.

Os seccionadores de média tensão de saída referente às subestações nº 2 e nº 3 estão instaladas de forma irregular, estando fora do limite da grade de proteção, devendo ser realocadas de modo a evitar risco de morte aos operadores da subestação.

### 3.1.4. Barramentos, Muflas e Isoladores

Os barramentos de média tensão estão em boas condições (Figura 13). Eles são de vergalhão de cobre, com  $\frac{1}{2}$ ” de espessura. A empresa T&T realizou testes para medição da resistência ôhmica de isolamento dos barramentos, através de um megôhmetro da marca Megabrás, modelo MI 5500, e todos se encontram dentro do valor mínimo necessário.

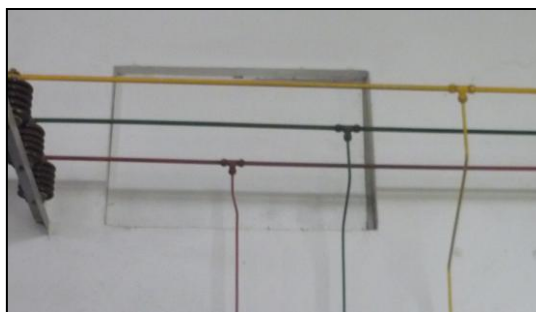


Figura 13 – Barramentos de média tensão da subestação, com três fases.

Na subestação, há três conjuntos de muflas: a primeira referente à entrada da subestação nº 1 e as outras duas referentes às saídas para as subestações nº 2 e nº 3 (Figuras 14, 15 e 16).

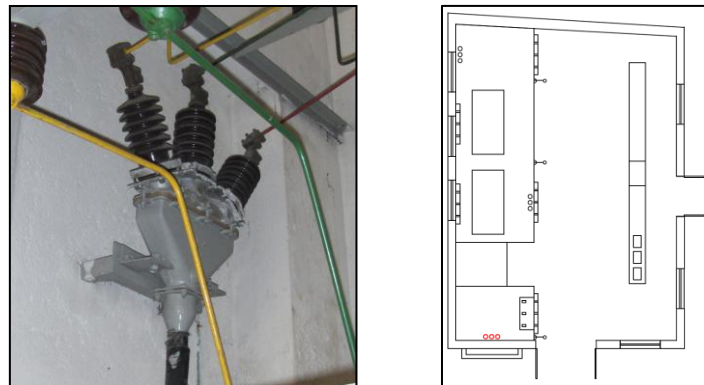


Figura 14 – Mufla de média tensão de entrada, 15 kV.

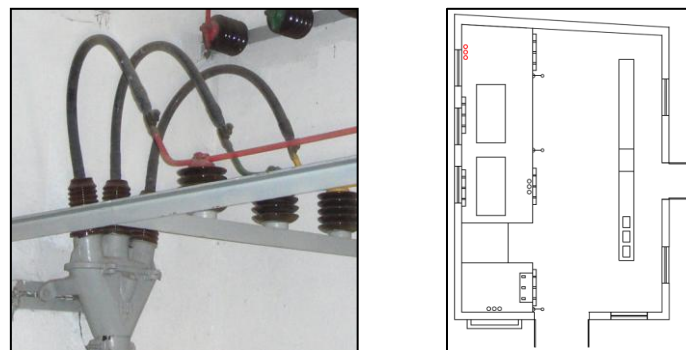


Figura 15 – Mufla de média tensão – subestação nº 2, 15 kV.

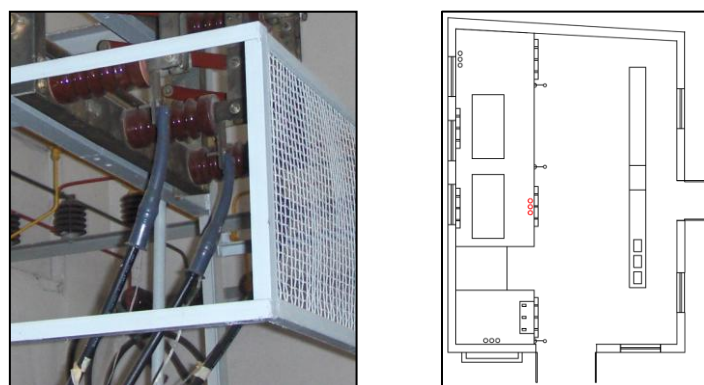


Figura 16 – Mufla de média tensão – subestação nº 3, 15 kV.

Todos os isoladores encontrados na subestação são do tipo suporte, em cerâmica, com tensão nominal de 15 kV (Figura 17). Eles estão em boas condições de funcionamento, apesar de estarem empoeirados devido à falta de manutenção periódica. Os isoladores estão instalados para dar suporte aos barramentos de média tensão.



Figura 17 – Isoladores de cerâmica encontrados na subestação.

Existe um conjunto de muflas, cabos e três barramentos desativados próximos ao disjuntor de média tensão (Figura 18). Deve-se providenciar a retirada desses barramentos para evitar uma possível confusão em uma manutenção futura.

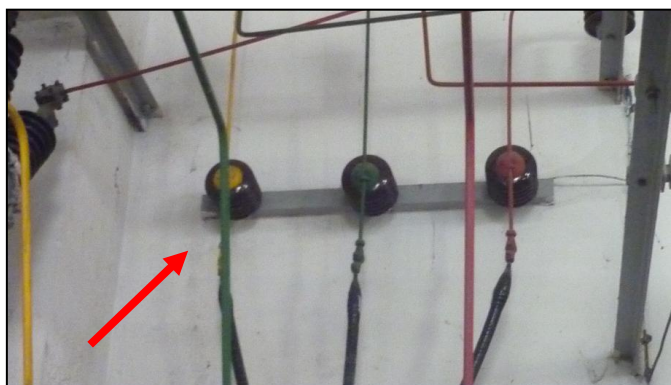


Figura 18 – Conjunto de muflas e barramentos desativados.

## 3.2. EQUIPAMENTOS DE BAIXA TENSÃO

### 3.2.1. Painel de Baixa Tensão

O painel de baixa tensão da subestação principal está em situação precária. Os principais problemas são listados a seguir:

- Algumas chaves estão emperradas e não é possível manipulá-las enquanto em outras, ao realizar o desligamento, não se consegue mais religá-las (Figura 19);
- Suas dimensões são muito grandes, ocupando muito espaço na subestação (Figura 19);
- As trancas das portas já não estão funcionando como deveriam, pois é frequente encontrá-las abertas, deixando os barramentos e fusíveis expostos;
- As luzes indicadoras de funcionamento das chaves não acendem mais, dificultando uma rápida identificação das chaves que estão operando (Figura 20.b);
- A chave geral de interligação dos barramentos está emperrada. Com isso não é possível fazer com que os transformadores atuem em paralelo (Figura 20.a);
- Os amperímetros e voltímetros não estão funcionando, pois mostram valores diferentes do real. Todos são analógicos E 144x144 mm e possuem as seguintes tensões e correntes nominais (Figura 20.b):
  - Voltímetro: 2 peças de 250 Vca
  - Amperímetro:
    - 2 peças de 300A;
    - 2 peças de 400A;
    - 2 peças de 600A;
    - 2 peças de 800A.

As Figuras 19 e 20 mostram detalhes do Painel Geral de Baixa Tensão.





Figura 19 – Visão frontal do painel de baixa tensão.



Figura 20 – (a) Chaves de operação do painel; (b) amperímetros, voltmímetros e luzes indicadoras de funcionamento.

A área atrás do painel de baixa tensão proporciona riscos aos profissionais que necessitem realizar alguma manutenção neste local (Figura 21). A parte traseira do painel está totalmente aberta e sem nenhum tipo de proteção, deixando os barramentos e fusíveis expostos. Além disso, existe uma porta de emergência situada nesta área. No caso de necessidade de uma rápida saída da subestação por essa porta, este seria mais um agravante desta situação.





Figura 21 – Visão traseira do painel de baixa tensão.

### 3.2.2. Banco de Capacitores

Na subestação existem três bancos de capacitores, e eles se encontram expostos sobre o painel de baixa tensão (Figura 22). Seu funcionamento está comprometido, pois não há modo de regulá-los de forma que os mesmos continuem injetando reativo capacitivo no período noturno, período ao qual não há consumo de potência reativa indutiva, permitindo a concessionária de energia elétrica cobrar uma multa por esse excesso de potência reativa. De acordo com o RECON MT, não são aceitas instalações fixas de capacitores.

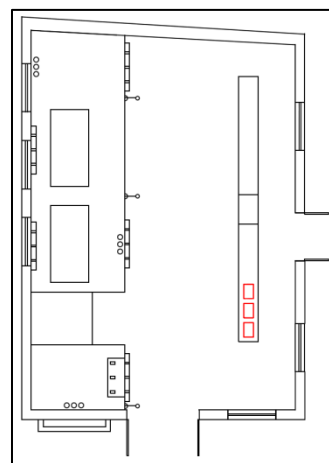


Figura 22 – Bancos de capacitores fixos, instalados sobre o painel de baixa tensão.

Os dados de placa dos bancos de capacitores são apresentados a seguir (Figura 23):

BANCO DE CAPACITORES – WALTEC			
TIPO		CPMW 22/7,5	
$V_{\text{NOMINAL}}$	220 V	Frequência	60 Hz
$Q_{\text{NOMINAL}}$	7,5 kVAr	$I_{\text{NOMINAL}}$	19,7 A
$C_{\text{NOMINAL}}$	412 $\mu\text{F}$	Ligação	$\Delta \backslash \backslash$

Figura 23 – Reprodução da placa de dados do banco de capacitores.

### 3.3. ACESSO

O acesso à subestação é feito através de uma porta principal, situada na parte da frente da subestação, e de uma porta de emergência, localizada na lateral da subestação.

A porta principal (Figura 24), com dimensões de 3,3 m x 1,5 m, abre para fora, facilitando assim uma saída rápida numa eventual situação de emergência, porém é feita de madeira, contrariando a norma NBR 14039, que diz que as portas de subestações abrigadas devem ser metálicas. A fechadura encontra-se com problemas para abrir, tanto pelo lado de dentro quanto pelo lado de fora.

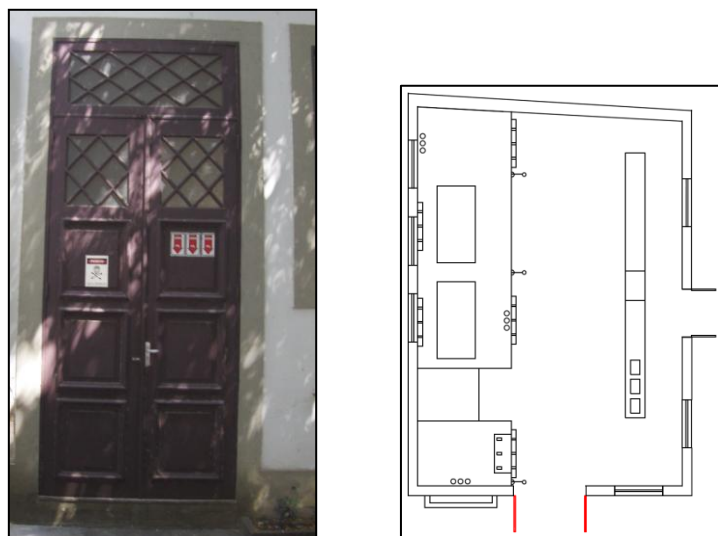


Figura 24 – Porta principal da subestação.

A porta de emergência possui dimensões de 2,2 m x 1,0 m, e, assim como a porta principal, abre para fora e é feita de madeira (Figura 25). Conforme já foi abordado anteriormente, existe o risco ao entrar e sair por essa porta, pois o painel de baixa tensão se encontra sem as tampas traseiras.

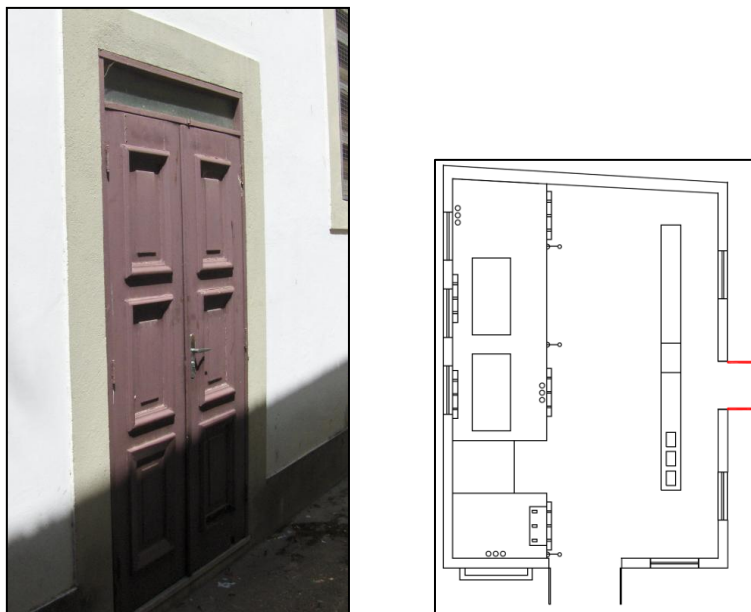


Figura 25 – Porta de emergência da subestação.

Existe uma rampa de acesso na entrada do espaço destinado à subestação (Figura 26), facilitando o transporte de equipamentos para dentro ou para fora da subestação.



Figura 26 – Rampa de acesso na entrada da subestação.

### 3.4. SINALIZAÇÃO

A sinalização da subestação é precária. Na parte de fora, não há nenhuma identificação de subestação, a não ser por uma pequena placa com a inscrição “PERIGO – ALTA TENSÃO” na porta principal (Figuras 27 e 28).



Figura 27 – Vista da área externa da subestação.



Figura 28 – Placa de sinalização de perigo, na porta da subestação.

Não existem placas de identificação dos equipamentos no interior da subestação. Para identificar as seccionadoras e os cabos que alimentam as outras duas subestações, apenas uma placa feita de papel coberta por um plástico transparente, presa por ganchos (Figura 29).



Figura 29 – Placa de sinalização da seccionadora referente à subestação nº 3.

### 3.5. ESTRUTURA FÍSICA

A subestação principal, construída em alvenaria, possui as seguintes dimensões: 5,63 m de largura, 7,71 m de comprimento e 5,00 m de altura.

As más condições da subestação não se limitam aos equipamentos. A estrutura física também está em péssimo estado. Como se pode observar na Figura 30, o teto apresenta sinais de infiltração, a pintura está se desfazendo e caindo sobre os equipamentos na parte de baixo da subestação (Figura 30).

*NOTA:* Após a realização desta visita, a equipe de manutenção da empresa realizou reparos no telhado, como conserto de telhas quebradas e pintura. Porém, na parte interna, ainda é necessária a restauração de todo o teto da subestação.



Figura 30 – Teto da subestação.

O piso da subestação, apesar dos tapetes de borracha existentes, apresenta problemas. A parte do piso onde não há o tapete fica escorregadia devido ao excesso de poeira, podendo ocasionar uma queda de um profissional dentro da subestação, colocando-o em perigo (Figura 31).



Figura 31 – Piso da subestação.

Outra situação agravante é a presença de equipamentos obsoletos dentro da subestação (Figura 32). Há um transformador inutilizado no meio da subestação, além de um seccionador, também desativado, ao fundo.



Figura 32 – Equipamentos obsoletos dentro da subestação.



### 3.6. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

O sistema de iluminação da subestação está completamente fora dos padrões. Ele é composto por duas lâmpadas incandescentes, uma delas ao lado da porta principal e outra na parede em frente à porta (Figuras 33 e 34). Além disso, neste segundo ponto de luz, ainda existe um eletroduto de metal para a ligação da lâmpada. No dia da visita, nenhuma das duas lâmpadas estava funcionando. Nesse estado, fica inviável qualquer tipo de manutenção ou correção de algum tipo de defeito que ocorra no período noturno.

As lâmpadas estão em uma altura que dificulta uma possível substituição sem a utilização de uma escada, o que não é recomendado, pois expõe o funcionário ao risco de uma queda da escada, colocando sua vida em perigo.

Há de se notar também a falta de iluminação de emergência, o que contraria a norma NBR 10898 – Sistemas de Iluminação de Emergência.



Figura 33 – Sistema de iluminação: lâmpada incandescente.

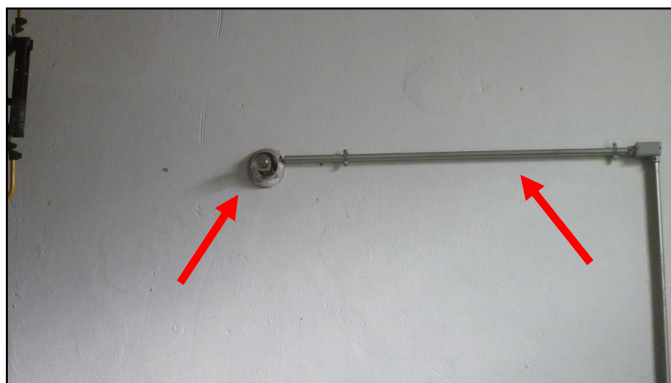


Figura 34 – Sistema de iluminação: lâmpada incandescente e eletroduto de metal.

### 3.7. SISTEMA DE VENTILAÇÃO

O sistema de ventilação da subestação é composto por um exaustor, três janelas e por duas saídas de ar na parte lateral da subestação, referentes aos transformadores.

O exaustor já não funciona mais, resultando na ineficiência de realização de ventilação forçada na subestação. Um aquecimento dos transformadores, por exemplo, pode ocasionar uma explosão, ainda mais sem a presença de paredes do tipo corta-fogo. Por isso, há a necessidade de trocá-lo de modo a permitir uma melhor ventilação.

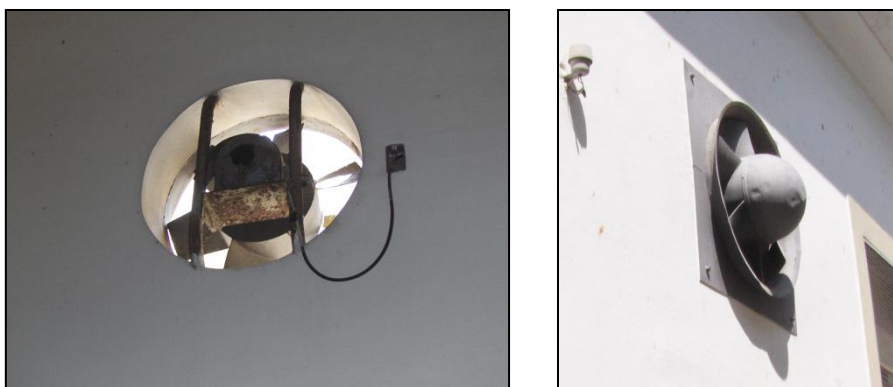


Figura 35 – Exaustor: (a) vista interna; (b) vista externa.

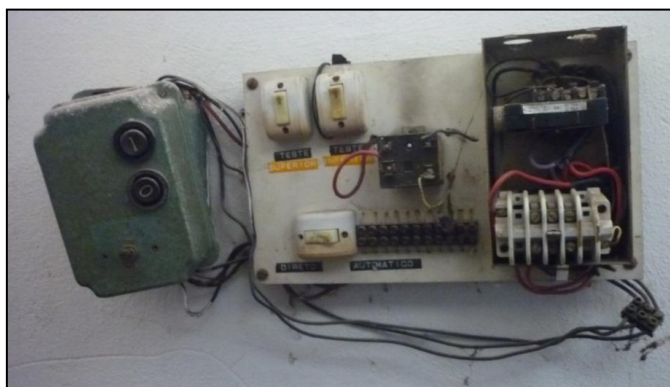


Figura 36 – Chave magnética de acionamento do sistema de ventilação.

As janelas estão completamente sujas. São do tipo basculante e suas alavancas estão emperradas, não realizando nem abertura nem fechamento (Figura 37). Todas



possuem as mesmas dimensões, 2,00 m x 1,00 m, com tela de proteção metálica pelo lado de fora.



Figura 37 – Ventilação natural da subestação: (a) janela frontal; (b) janelas laterais.

As saídas de ar estão localizadas a uma altura superior a 20 cm em relação ao piso, de forma a impedir a entrada de chuva ou corpos estranhos e são protegidas por tela metálica, conforme a norma NBR 14039. Um cano de água passa na direção de uma dessas saídas de ar (Figura 38.b). Este cano deve ser retirado dessa posição, pois em caso de rompimento do cano pode vazar água para dentro da subestação.



Figura 38 – Saídas de ar para ventilação: (a) transformador 1; (b) transformador 2.

### 3.8. SEGURANÇA

A falta de equipamentos de segurança na área física da subestação é outro erro grave encontrado durante a vistoria. Lanternas, luvas de borracha de 15 kV, bastão de manobra para operação dos seccionadores de 15 kV são alguns dos equipamentos que faltam à subestação.

#### 3.8.1. Grade de Proteção

O cubículo de média tensão está protegido por uma grade de proteção metálica (Figura 39), porém, a mesma encontra-se fora dos padrões das normas brasileiras. Ela não possui dimensão vertical suficiente para impedir o alcance e/ou acesso de pessoas que possam circular ou trabalhar no interior da subestação, precisando ser substituída.



Figura 39 – Grade de proteção metálica.

### 3.8.2. Extintores de Incêndio

A subestação conta com três extintores de incêndio, sendo dois deles situados dentro da subestação e um na parte de fora (Figura 40). Os dois extintores internos são equipamentos sobre rodas e possuem extinção a CO<sub>2</sub>, 10 kg. O extintor externo está fixado à parede ao lado da porta principal, com extinção a CO<sub>2</sub>, 6 kg.

Os extintores de incêndio estão de acordo com as regulamentações. As manutenções vêm sendo feitas no período correto, garantindo estarem em perfeito estado no momento de uma eventual necessidade de utilizá-los.



Figura 40 – Extintores de incêndio a base de CO<sub>2</sub>: (a) internos; (b) externo.

## 3.9. ATERRAMENTO E SPDA

O sistema de aterramento é constituído de um fio condutor enterrado no solo. Este se encontra fora dos padrões normativos, pois em medição realizada recentemente pela empresa T&T, foi encontrado com valor de 20,19  $\Omega$ , que é superior ao valor máximo permitido (10  $\Omega$ ).

Para a proteção contra descargas atmosféricas, a subestação conta com três para-raios poliméricos, de 15 kV, com 4 saias e estão em perfeito estado de funcionamento (Figura 41).

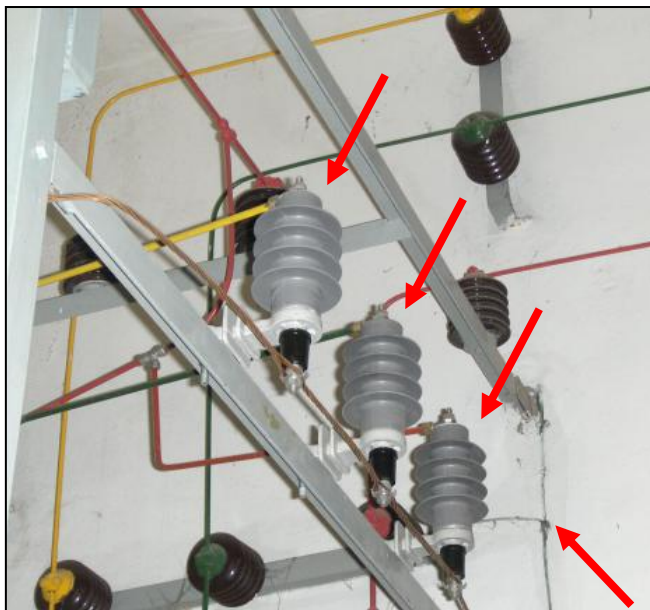


Figura 41 – Cordoalha de aço para aterramento das partes metálicas e para-raios poliméricos.

### 3.10. CUBÍCULO DE MEDIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA

O cubículo de medição da concessionária de energia elétrica, a Light, encontra-se com todos seus selos, lacres e dispositivos de segurança conservados (Figura 42).

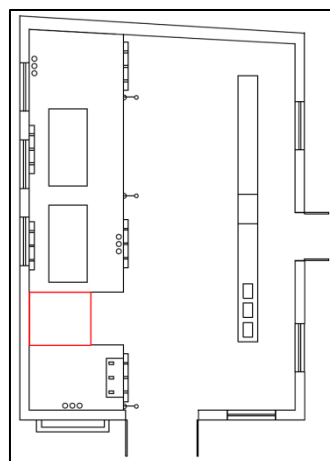


Figura 42 – Cubículo de medição de energia da concessionária Light.

### 3.11. ALGUNS DIAGNÓSTICOS

Depois de analisar as condições de funcionamento da subestação, o projeto entra em fase de especificação.

Como a capacidade instalada da subestação e a tensão de alimentação da concessionária permanecerão as mesmas, não serão necessários cálculos para redimensionamento de transformadores, disjuntores e seccionadores, que continuarão com as mesmas potências e tensões nominais. Esses equipamentos serão apenas substituídos por outros mais modernos, compactos e com maior confiabilidade.

O disjuntor de média tensão, os seccionadores, barramentos e a medição serão instalados dentro de compartimentos blindados isolados a gás SF<sub>6</sub>, permitindo mais segurança e confiabilidade enquanto os transformadores serão do tipo a seco, adequando-se às normas em subestações abrigadas.

O painel geral de baixa tensão abrigará um número maior de disjuntores. Por ser modulado e mais compacto, ocupará menos espaço dentro da subestação. Os bancos de capacitores serão instalados juntos ao painel de baixa tensão, funcionando de forma automática. Eles serão redimensionados para correção do fator de potência.

Os sistemas de iluminação e ventilação serão reformados, com novas instalações para possibilitar um funcionamento correto de seus equipamentos.

A estrutura física deverá passar por reforma, com pintura do teto e das paredes. As janelas precisarão ser restauradas e pintadas; as portas substituídas por outras metálicas das mesmas dimensões das atuais. Placas de identificação da subestação necessitarão ser instaladas no lado externo enquanto no interior, sinalizações dos equipamentos deverão ser instaladas para facilitar as operações na subestação.

O sistema de aterramento será totalmente refeito, com a fixação de hastes metálicas interligadas por fio condutor, de modo a reduzir a resistência de terra.

## **CAPÍTULO 4**

### **PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DA SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA PRINCIPAL**

Para a concretização do projeto de modernização da subestação, todos os equipamentos já existentes deverão ser retirados da subestação. Em seu lugar, equipamentos mais novos, compactos e modernos deverão ser instalados.

As especificações dos novos equipamentos serão apresentadas neste capítulo.

#### **4.1. EQUIPAMENTOS DE ALTA TENSÃO**

##### **4.1.1. Transformadores de Potência**

Os dois transformadores de potência a serem instalados deverão ser do tipo a seco, com seu núcleo encapsulado a vácuo. Esta escolha se baseia nas vantagens deste tipo de transformador em relação aos outros encontrados no mercado, tais como: pouca manutenção, mais compactos, são autoextinguíveis e não geram gases tóxicos, menor nível de descargas parciais (o que prolonga a vida útil do equipamento) e por ser o tipo recomendado para utilização em subestações abrigadas segundo normas vigentes no país. Eles deverão possuir as seguintes características:

- Potência nominal: 300 kVA;
- Seco, encapsulados sob vácuo em resina epóxi;
- Trifásico;
- Frequência: 60 Hz;
- Tensão primária nominal: 15 kV;
- Derivações primárias: 13,8 / 13,2 / 12,9 / 12,6 / 12 kV;
- Derivação secundária: 220/127 V – Estrela;
- Tensão Suportável de Impulso (TSI): 95 kV;
- Deslocamento angular: 30°;

- Grupo de ligação: Dyn 1;
- A bucha secundária do neutro deve ser isolada do transformador.

No mercado encontram-se diversos fornecedores de transformadores de potência a seco, dentre os quais se destacam os seguintes:

➤ **TRANSFORMADOR SECO WEG – WEG [27]:**

- São autoextinguíveis, pois a resina de seu encapsulamento não propaga fogo;
- Não libera gases tóxicos nem contamina o meio ambiente;
- Os custos de manutenção e instalação são baixos;
- Possui dimensões reduzidas, adequando-se a ambientes com pouco espaço;
- Os enrolamentos de alta e baixa tensão são isolados com resina epóxi, classe F (155 °C);
- Grau de proteção: IP 00 até IP 55. Porém, por ser uma subestação interna, recomenda-se o uso de no máximo IP 23;
- Conforme as normas NBR 1095 e IEC 60076-11;
- O melhor modelo que se adéqua ao projeto é:
  - Classe de tensão: 15 kV;
  - Potência nominal: 300 kVA;
  - Trifásico;
  - Impedância: 6%;
  - Frequência: 60 Hz;
  - Classe térmica: F (155 °C);
  - Grau de proteção: IP 23.

➤ **GEAFOLITO – SIEMENS [23]:**

- Isento de manutenção;
- Resistente a tensões de impulso e aplicada;
- Alta resistência a correntes de fuga;
- Suportam fortes sobrecargas;
- Possuem propriedades de autoextinção e não liberam gases tóxicos;

- Resistentes a curtos-circuitos e apresentam ótima resistência mecânica;
- Isento de descargas parciais internas até o dobro da tensão nominal, o que aumenta sua vida útil;
- Atende a norma ABNT NBR 10295;
- O modelo sugerido para satisfazer a necessidade do projeto é:
  - Classe de tensão: 15 kV;
  - Potência nominal: 300 kVA;
  - Trifásico;
  - Nível Básico de Isolamento: 95 kV;
  - Impedância: 5,75%;
  - Frequência: 60 Hz;
  - Classe térmica: F (155 °C);

➤ **RESIMOLD** – *SCHNEIDER ELECTRIC* [21]:

- Isentos de manutenção;
- Autoextinguível e não propaga chamas;
- Sistema de encapsulamento em resina epóxi;
- Excelente resistência a envelhecimento térmico;
- Também é encapsulada por carga mineral, que contribui para uma alta condutividade térmica e resistência mecânica, aumento da resistência ao fogo e melhor dissipação de calor;
- Atende às normas: IEC 60076-11, NBR 10295, NBR 5356, NR 10 e NBR 14039;
- O modelo mais apropriado ao projeto é:
  - Classe de tensão: 15 kV;
  - Potência nominal: 300 kVA;
  - Trifásico;
  - Nível Básico de Isolamento: 95 kV;
  - Impedância: 4,5%;
  - Ruído: 58 dB;
  - Grau de proteção: IP 21;
  - Frequência: 60 Hz;
  - Classe térmica: F (155 °C);



- Grupo de ligação: Dyn-1;

Todos os modelos apresentados acima atendem às especificações desejadas para o projeto. O modelo escolhido é o Transformador Resimold, da Schneider Electric (Figura 43). Esta escolha foi baseada na melhor adequação deste transformador ao espaço destinado a ele na subestação, além de atender a todos os requisitos necessários para o projeto e da qualidade reconhecida do fabricante.



Figura 43 – Transformador de potência a seco (Resimold) [21].

É necessário afixar uma placa de identificação em chapa de aço inoxidável em cada transformador, com os seguintes dados, segundo a norma NBR 10295:

- tipo do transformador;
- nome do fabricante e local de fabricação;
- número de série de fabricação;
- ano de fabricação; designação e data da norma brasileira;
- tipo (segundo a classificação do fabricante);
- número de fases;
- potência nominal e potência de derivação diferentes das nominais em kVA;
- designação do método de resfriamento;
- diagrama de ligações, contendo todas as tensões nominais e de derivações e respectivas correntes; frequência nominal;

- temperatura limite do sistema isolante empregado e limite de elevação de temperatura nos enrolamentos, ou de cada enrolamento individualmente, se aplicável;
- diagrama fasorial;
- impedância de curto-circuito, em porcentagem;
- massa total aproximada, em kg;
- níveis de isolamento; tipo de enchimento; faixa de pressão de funcionamento;
- pressões absolutas mínima e máxima para as quais o invólucro foi projetado;
- pressão e temperatura do meio utilizado para enchimento quando da selagem.

#### **4.1.2. Cubículo de Média Tensão**

O cubículo de média tensão blindado, também chamado de subestação blindada, permite uma maior confiabilidade e segurança para os operadores, já que todos os equipamentos de média tensão são protegidos por uma estrutura metálica blindada. Essa estrutura compreende o disjuntor de média tensão, as chaves seccionadoras, os transformadores de corrente e potencial, além dos barramentos, isoladores e para-raios.

Existem diversos fabricantes de subestações blindadas aprovados pela Light (Padrão Light – 11/11/2010). Dentre essas marcas analisadas, um modelo foi escolhido por adequar-se as exigências da concessionária, ser mais completo e mais fácil de compreender seu funcionamento, visto que suas especificações são mais completas, além da confiabilidade garantida pelo fabricante. Este modelo é o SM6, da Schneider-Electric, que permite seccionamento até 24 kV [20]. A seguir, serão apresentados detalhes de cada compartimento do cubículo de média tensão, baseados neste modelo.

A subestação deve ser composta por um conjunto de células modulares metálicas, preenchidas por gás hexafluoreto de enxofre ( $\text{SF}_6$ ). Esses compartimentos devem conter seccionadores fixos sob carga ou não, disjuntor extraível a  $\text{SF}_6$ ,

barramentos, entrada e saída de cabos por sua parte inferior e o acesso deve ser realizado apenas pela parte frontal do cubículo.

A utilização do gás SF<sub>6</sub> como forma de isolamento e extinção do arco elétrico em painéis blindados se deve ao fato deste tipo de gás ser extremamente seguro, confiável e requerer pouca manutenção.

O painel blindado deve ser instalado no lado esquerdo da subestação, tomando como base sua porta principal, e a montagem realizada da esquerda para a direita (Anexo III.A). Sendo assim, a entrada dos cabos alimentadores da concessionária deve ser pela esquerda, do mesmo modo como ocorre atualmente. A entrada e saída de cabos devem ocorrer pela parte inferior do painel.

Os módulos devem ter suas partes traseiras encostadas na parede da subestação e o acesso aos cubículos deve se dar apenas pela parte frontal. Além disso, as portas devem possuir intertravamento mecânico de modo a permitir sua abertura apenas em caso do circuito estar aberto e aterrado, proporcionando segurança às pessoas que necessitem estar em contato com as partes energizadas do painel.

O cubículo de média tensão deve possuir grau de proteção IK 08. Isto quer dizer que ele deve ser resistente a impacto mecânico (até 5 joules), ou seja, impacto de um objeto de 1,7 kg a partir de 29,5 cm de distância. Sua proteção contra o arco interno deve suportar uma corrente de curta duração de até 16 kA (em 1 segundo), nos três lados (um frontal e dois laterais). As células devem possuir grau de proteção IP 3X.

De acordo com o catálogo do fabricante, os módulos devem ser aparafusados através de parafusos fornecidos juntamente com as células. As conexões dos barramentos devem ser realizadas com um torquímetro regulado a 28 mN. Já a fixação dos módulos nos piso deve ser feita com o uso de chumbadores, sendo 4 furos para cada célula. Os furos devem espaçar 15 mm das partes laterais e 50 mm das partes frontal e traseira.

O cubículo de média tensão deve possuir 7 módulos compartimentados. São eles:

- 1º módulo: seccionador de entrada – alimentação da Light;
- 2º módulo: medição de energia da concessionária;

- 3º módulo: proteção geral com disjuntor de média tensão a gás SF6;
- 4º módulo: seccionador de saída – Subestação nº 2;
- 5º módulo: seccionador de saída – Subestação nº 3;
- 6º módulo: seccionador-fusíveis e saída de cabos – Transformador de potência 1;
- 7º módulo: seccionador-fusíveis e saída de cabos – Transformador de potência 2;

A seguir, todos esses módulos serão analisados separadamente e suas características, funcionalidades e especificações descritas.

#### **4.1.2.1. Secionador de entrada e de saída (Módulo IM)**

Este módulo possui as funções de seccionamento de entrada e saída. Para o projeto, será requerido um módulo para seccionamento de entrada, referente ao fornecimento de energia elétrica da concessionária e dois módulos para seccionamento de saída, referente à alimentação das outras duas subestações localizadas na empresa.

Como as especificações e as características técnicas desses módulos são exatamente as mesmas, diferenciando apenas na entrada ou saída de cabos, serão descritas apenas uma vez.

##### ➤ Características do módulo:

- Dimensões:
  - Altura: 1600 mm;
  - Largura: 375 mm;
  - Profundidade: 940 mm;
- Secionador sob carga e chave de terra com intertravamento de segurança;
- Comando CIT;
- Barramento tripolar, seguindo o código de cores da ABNT;
- Indicadores de presença de tensão;
- Resistência de aquecimento de 50 W;
- Kit de ligação para cabos secos unipolares e tripolares;

- Travamento por chave.
- Características do seccionador sob carga e chave de terra (Figura 44):
  - Três contatos rotativos contidos em invólucro preenchido com SF<sub>6</sub>, atendendo ao “sistema de pressão selado”;
  - Possui três posições: “aberta”, “fechada” e “aterrada”;
  - Mecanismo de ação rápida independente do operador, combinando as funções de interrupção e seccionamento;
  - A chave de terra possui capacidade de fechamento em curto-circuito;
  - Vida útil de 30 anos;
  - Comando CIT de dupla função:
    - Para as funções de seccionador sob carga e chave de terra, operação independente de abertura e fechamento por alavanca;
    - 2 contatos NA + 3 contatos NF para o seccionador e 1 contato NA + 1 contato NF para a chave de terra;
  - Especificações técnicas:
    - Tripolar;
    - Tensão nominal: 17,5 kV;
    - Nível Básico de Isolamento, crista: 95 kV;
    - Corrente nominal: 1250 A;
    - Corrente de curta duração admissível, 1s: 20 kA;
    - Frequência nominal: 60 Hz.



Figura 44 – Secionador sob carga e chave de terra [20].

#### 4.1.2.2. Medição de energia da concessionária (Módulo GBC-B)

Este módulo é o segundo compartimento do painel blindado. Nele, deverão ser instalados os equipamentos de medição da concessionária de energia elétrica. Segundo o RECON MT, apesar de utilizar apenas 2 transformadores de potencial e 2 de corrente, é obrigatório a instalação de 3 elementos de cada tipo. Esses dispositivos devem ser fornecidos e instalados pela concessionária, assim como o medidor de faturamento.

➤ Características do módulo:

- Dimensões:
  - Altura: 1600 mm;
  - Largura: 750 mm;
  - Profundidade: 1020 mm;
- 3 transformadores de potencial;
- 3 transformadores de corrente;
- Barramento tripolar, seguindo o código de cores da ABNT;
- Barras de ligação;
- Dispositivo para lacre.

➤ Características técnicas dos transformadores de potencial:

- Trifásico;
- Tensão nominal: 15 kV;
- Tensão suportável de impulso (TSI), crista: 95 kV;
- Relação de transformação: 13200/120 V;
- Isolamento em resina epóxi.

➤ Características técnicas dos transformadores de corrente:

- Monofásico;
- Tensão nominal: 15 kV;
- Tensão suportável de impulso (TSI), crista: 95 kV;
- Relação de transformação: 160:1 (800-5A);
- Fator térmico: 1,3;
- Isolamento em resina epóxi.

#### 4.1.2.3. Proteção geral com disjuntor de média tensão a gás SF<sub>6</sub> (Módulo DM1-D)

Este módulo é responsável pela proteção geral da subestação. Esta proteção é realizada basicamente através de uma chave seccionadora e chave de terra, um disjuntor de média tensão, com isolamento a gás SF<sub>6</sub> e um relé de proteção eletrônico.

➤ Características do módulo:

- Dimensões:
  - Altura: 1600 mm;
  - Largura: 750 mm;
  - Profundidade: 1220 mm;
- 1 disjuntor com isolamento e interrupção a gás SF<sub>6</sub> desconectável;
- Comando RI para o disjuntor;
- 1 seccionador sob carga e chave de terra;
- Comando CS para o seccionador;
- Barramento tripolar, seguindo o código de cores da ABNT;
- Indicador de presença de tensão;
- 3 transformadores de corrente de proteção, a montante do disjuntor de média tensão;
- 3 transformadores de potencial;
- Relé de proteção eletrônico programável.

➤ Características do disjuntor de média tensão (Figura 45):

- Disjuntor a gás SF<sub>6</sub> desconectável;
- Invólucro tripolar integrado num sistema de isolamento tipo “sistema de pressão selado”, preenchido com SF<sub>6</sub>;
- Capaz de realizar até 10.000 manobras a corrente nominal, atendendo a norma IEC 62271-100;
- Comando RI:
  - Operação independente de abertura (por botão pulsador) e fechamento;
  - 4 contatos NA e 4 contatos NF para o disjuntor e 1 contato NF para o carregamento de comando;
  - Possui um contador de operações, registrado por sinalização mecânica;

- Especificações técnicas:
  - Tripolar;
  - Tensão nominal: 17,5 kV;
  - Tensão aplicada à frequência industrial (60 Hz/1min): 38 kV;
  - Nível Básico de Isolamento, crista: 95 kV;
  - Corrente nominal: 1250 A;
  - Corrente de curta duração admissível, 1s: 20 kA;
  - Frequência nominal: 60 Hz;
  - Tempo de operação:
    - Abertura: 50 ms;
    - Interrupção: 60 ms;
    - Fechamento: 65 ms.



Figura 45 – Disjuntor de média tensão a gás SF<sub>6</sub> (SF1) [20].

- Relé de proteção eletrônico (Figura 46):
  - Medição de todas as grandezas elétricas necessárias;
  - Software em PC amigável e poderoso para parametrização dos valores e das proteções;
  - Registro de perturbações;
  - Aparelho de fácil instalação;
  - Realiza a proteção sobre:
    - Sobrecorrente de fase (50-51);



- Fuga à terra / Fuga à terra sensível (50N-51N);
- Imagem térmica (49);
- Subcorrente de fase (37);
- Desbalanço / corrente de sequência negativa (46).



Figura 46 – Relé de proteção eletrônico (Sepam 20) [20].

Para atuar em conjunto com o relé de proteção, deverão ser utilizados sensores do tipo LPCT (transdutor de corrente de baixa potência), para medição de corrente de valor entre 5 A e 630 A. Esses sensores deverão ser instalados próximos ao circuito de média tensão e possuir conexão direta com o relé. Com isso, o relé de proteção tem a possibilidade de receber os valores das correntes de fase marcadas pelo LPCT e utilizar essas informações na proteção, além de desligar o dispositivo de interrupção no caso de defeito.

➤ Características do sensor do tipo LPCT (Figura 47):

- Corrente nominal primária mínima: 5 A;
- Corrente nominal primária: 100 A;
- Corrente nominal primária estendida: 1250 A;
- Classe de precisão para a medição: 0,5;
- Classe de precisão para a proteção: 5P;
- Corrente de curta duração admissível, 1s: 40 kA;
- Tensão máxima: 17,5 kV;
- Tensão suportável de isolamento na frequência industrial: 38 kV.



Figura 47 – Sensor LPCT (CLP2) [20].

- Características do seccionador sob carga e chave de terra:
  - Três contatos rotativos contidos em invólucro preenchido com SF<sub>6</sub>, atendendo ao “sistema de pressão selado”;
  - Possui três posições: “aberta”, “fechada” e “aterrada”;
  - Mecanismo de ação rápida independente do operador, combinando as funções de interrupção e seccionamento;
  - A chave de terra possui capacidade de fechamento em curto-circuito;
  - Vida útil de 30 anos;
  - Comando CS de dupla função:
    - Abertura e fechamento com operação dependente por alavanca;
    - 2 contatos NA + 3 contatos NF para o seccionador e 1 contato NA + 1 contato NF para a chave de terra;
  - Especificações técnicas:
    - Tripolar;
    - Tensão nominal: 17,5 kV;
    - Nível Básico de Isolamento, crista: 95 kV;
    - Corrente nominal: 1250 A;
    - Corrente de curta duração admissível, 1s: 20 kA;
    - Frequência nominal: 60 Hz.

#### 4.1.2.4. Secionador-fusíveis e saída de cabos (Módulo QMPR)

Este módulo é responsável pela proteção dos transformadores. Para esta ação, serão especificados um secionador atuando em conjunto com 3 fusíveis, além da presença de para-raios para proteção contra sobretensões [3]. Os cabos de média tensão para conexão do painel blindado aos transformadores de potência devem sair pela parte inferior do painel, e seguir através de canaletas (350 mm x 350 mm x 500 mm) até os transformadores.

➤ Características do módulo:

- Dimensões:
  - Altura: 1600 mm;
  - Largura: 500 mm;
  - Profundidade: 940 mm;
- Secionador sob carga e chave de terra;
- Comando CII;
- Equipamento para três fusíveis DIN com sistema “striker pin”;
- Para-raios;
- Barramento tripolar, seguindo o código de cores da ABNT;
- Indicadores de presença de tensão;
- Mecanismo de sinalização de queima do fusível;
- Travamento por chaves;
- Kit de ligação para cabos secos.

➤ Características do secionador sob carga e chave de terra:

- Três contatos rotativos contidos em invólucro preenchido com SF<sub>6</sub>, atendendo ao “sistema de pressão selado”;
- Possui três posições: “aberta”, “fechada” e “aterrada”;
- Mecanismo de ação rápida independente do operador, combinando as funções de interrupção e seccionamento;
- A chave de terra possui capacidade de fechamento em curto-circuito;
- Vida útil de 30 anos;
- Comando CII de dupla função:

- Para as funções de seccionador sob carga e chave de terra, operação independente de abertura e fechamento por alavanca;
  - 2 contatos NA + 3 contatos NF para o seccionador e 1 contato NA + 1 contato NF para a chave de terra;
  - Sinalização mecânica para queima de fusíveis;
  - Especificações técnicas:
    - Tripolar;
    - Tensão nominal: 17,5 kV;
    - Nível Básico de Isolamento, crista: 95 kV;
    - Corrente nominal: 1250 A;
    - Corrente de curta duração admissível, 1s: 20 kA;
    - Frequência nominal: 60 Hz.
- Características dos fusíveis:
- Corpo em porcelana vidrada de alta resistência contra esforços térmicos e mecânicos;
  - Possui o pino percursor com mola tipo “striker pin” para permitir a visualização do fusível no caso de queima;
  - Atende às normas IEC 60282-1 e DIN 43625;
  - Especificações técnicas:
    - Fusível tipo HH 475 mm;
    - Tensão nominal: 17,5 kV;
    - Tensão de operação: 13,8 kV;
    - Potência do transformador: 300 kVA;
    - Corrente nominal do calibrador do fusível: 32 A.
- Características dos para-raios:
- Encapsulamento de varistores de óxido de zinco (ZnO);
  - Equipados com desligador automático;
  - Uso interior;
  - Atende às normas IEC 60099-4, ANSI C62.11 e ao RECON MT da Light;
  - Especificações técnicas:

- Classe: 10 kA;
- Tensão de operação: 13,8 kV;
- Tensão máxima de operação contínua (MCOV): 12,7 kV;
- Tensão suportável de impulso (TSI): 95 kV (crista).

➤ Características dos cabos de média tensão:

- Cabos unipolares de alumínio;
- Fabricados em polietileno reticulado;
- Cobertura de composto termoplástico de PVC sem chumbo;
- Atender à norma ABNT NBR 7287;
- Especificações técnicas:
  - Tensão nominal: 8,7/15 kV;
  - Bitola: 35 mm<sup>2</sup>.

Juntamente com os equipamentos instalados, deverão ser inseridas placas de identificação para cada equipamento.

➤ Disjuntor de média tensão:

- Nome do fabricante;
- Tipo do disjuntor;
- Número e data de fabricação;
- Tensão nominal;
- Corrente nominal;
- Tensão suportável de impulso (TSI);
- Tipo de isolante;
- Capacidade de interrupção.

➤ Secionadora de média tensão

- Nome do fabricante;
- Tipo de chave;
- Número e data de fabricação;
- Tensão nominal;
- Corrente nominal;
- Tensão suportável de impulso (TSI);

- Condição de operação: sob carga ou não;
- Tipo de isolante;
- Capacidade de interrupção.

## **4.2. EQUIPAMENTOS DE BAIXA TENSÃO**

### **4.2.1. Painel Geral de Baixa Tensão**

O novo painel de baixa tensão deverá ser modulado, compacto, e atuar com a tensão já abaixada, 220/127 V, alimentando os quadros de distribuição localizados nos prédios da empresa.

A seguir serão apresentadas as características técnicas necessárias para a realização do projeto:

- O Painel de Baixa Tensão deverá ser composto por 5 partes:
  - QGBT 1: proveniente do transformador n° 1;
  - QGBT 2: proveniente do transformador n° 2;
  - Banco de capacitores automáticos;
  - 2 compartimentos para entrada de cabos;
- Painel de uso interno;
- O painel deverá ser TTA (Type Tested Assembly), possuindo alto desempenho na resistência ao arco elétrico em todos os seus compartimentos;
- A entrada dos cabos deve ser realizada pela parte inferior do painel;
- O acesso para as áreas de conexão deve ser realizado pela parte frontal do painel;
- Atender às normas NBR 60439-1, NBR 5410 e NR-10;
- Barramento primário deve possuir as seguintes características:
  - Ser posicionado na parte superior da coluna;
  - Composto de uma barra de cobre com espessura mínima de 5 mm por fase;
  - Garantir a distribuição de corrente elétrica no painel;
  - Características técnicas:

- Corrente nominal: 800 A;
  - Corrente suportável nominal (crista): 63 kA;
  - Corrente suportável de curta duração: 63 kA.
- Barramento secundário deve possuir as seguintes características:
  - Montado na parte traseira da coluna;
  - Composto de uma barra de cobre com espessura mínima de 5 mm por fase;
  - Conectado ao barramento principal através de parafusos, porcas e arruelas de contato;
  - Características técnicas:
    - Corrente nominal: 800 A;
    - Corrente suportável nominal (crista): 63 kA;
    - Corrente suportável de curta duração: 63 kA.
- Barramento de terra:
  - Deve possibilitar a conexão dos condutores de proteção dos componentes elétricos, garantindo a equipotencialidade das partes condutivas externas.
- Compartimentação das colunas: devem ser do tipo (3b), ou seja, com separações entre os barramentos e as unidades funcionais (disjuntores, no caso), além de uma separação entre elas.
- Os cabos de baixa tensão, para ligação do secundário dos transformadores ao QGBT, devem ser inseridos através de canaletas subterrâneas (350 mm x 350 mm x 500 mm) e possuir as seguintes características:
  - Não devem propagar chama e possuir autoextinção do fogo;
  - Unipolares de cobre;
  - Extraflexíveis (classe 5);
  - Atender a norma ABNT NBR 13248;
  - Tensão nominal: 0,6/1 kV;
  - 3 cabos de 185 mm<sup>2</sup> por fase;
  - 1 cabo de 240 mm<sup>2</sup> para neutro.
- Com a atual configuração do QGBT, existem 2 disjuntores gerais e 8 chaves-fusíveis. Para o novo projeto, serão instalados 8 disjuntores para substituir as chaves-fusíveis e acrescentados mais 10 disjuntores, totalizando 20. Desse

modo, é possível ter mais opções caso haja necessidade de aumento ou simplesmente realocação das cargas. Os disjuntores deverão ser os equipamentos instalados nas unidades funcionais do painel. Todos os disjuntores devem ser em caixa moldada, tripolares e possuir as seguintes unidades em relação às colunas, pela vista frontal (Anexo III.C):

- Coluna do lado direito, referente ao transformador nº 1:
  - 1 disjuntor de 800 A (Disjuntor Geral);
  - 3 disjuntores de 630 A (sendo 1 reserva);
  - 3 disjuntores de 400 A (sendo 2 reservas);
  - 3 disjuntores de 250 A (sendo 2 reservas);
- Coluna do lado esquerdo, referente ao transformador nº 2:
  - 1 disjuntor de 800 A (Disjuntor Geral);
  - 1 disjuntor de 630 A (sendo 1 reserva);
  - 5 disjuntores de 400 A (sendo 2 reservas);
  - 3 disjuntores de 250 A (sendo 2 reservas);
- Cada coluna referente a um transformador deverá conter um gerenciador de energia, com as seguintes funções:
  - Trifásico, de precisão classe 0.2;
  - Medição de tensão, corrente, corrente de neutro e de terra, potência, frequência, fator de potência, demanda, energia e tempo de utilização;
  - Monitoramento e auditoria da qualidade de energia;
  - Detecção da direção do distúrbio para identificar se a perturbação é originada a montante ou a jusante de um medidor;
  - Servidor Web integrado e e-mail para alarme e dados;
- Características técnicas:
  - Tensão nominal de operação: 220 V;
  - Tensão nominal de isolamento: 1000 V;
  - Tensão Suportável de Impulso: 12 kV;
  - Frequência da rede: 60 Hz;



Dentre os fabricantes mais conhecidos no mercado, os painéis gerais de baixa tensão que mais se destacam são os seguintes:

➤ **BLOKSET – SCHNEIDER ELECTRIC [19]:**

- Facilidade de instalação;
- Dimensões e conexões reduzidas;
- Possibilidade de modificação a baixo custo;
- Custo de manutenção limitado devido à evolução e padronização do sistema;
- Características técnicas:
  - Tensão Suportável de Impulso: 12 kV;
  - Tensão nominal de operação: 220 V;
  - Grau de poluição: 3;
  - Compartimentação interna das colunas: 3b;
  - Tensão nominal de isolamento: 1000 V;
  - Frequência da rede: 60 Hz;
  - Corrente nominal: 800 A;
  - Corrente suportável nominal (crista): 63 kA;
  - Corrente suportável de curta duração (1s): 30 kA;
  - Grau de proteção: IP 42;
  - Dimensões:
    - Altura: 2200 mm;
    - Largura: 700 mm;
    - Profundidade: 400 mm;
    - Módulos: 50 mm, com máximo de 40 por coluna;
    - Compartimento para cabos com largura de 200 mm.

➤ **SIVACON S4 – SIEMENS [24]:**

- Sistema de ventilação que permite uma maior eficiência e manutenção simplificada;
- Painel totalmente testado (TTA);
- Robusto sistema de fechos que possibilita máxima segurança pessoal;
- Adaptação flexível na compartimentação interna para necessidades individuais;

- Possibilidade da abertura da porta tanto para direita quanto para a esquerda;
- Acesso rápido aos dispositivos para fins de ajustes;
- Sistema de barramento que facilita as ligações das unidades funcionais sem a necessidade de furações;
- Montagem econômica devido à combinação de diversas técnicas de instalação;
- Atende as normas NBR IEC 60439-1 e NR-10;
- Características técnicas:
  - Tensão Suportável de Impulso: 12 kV;
  - Tensão nominal de operação: 220 V;
  - Grau de poluição: 3;
  - Compartimentação interna das colunas: 3b;
  - Tensão nominal de isolamento: 1000 V;
  - Frequência da rede: 60 Hz;
  - Corrente nominal: 800 A;
  - Corrente suportável nominal (crista): 63 kA;
  - Corrente suportável de curta duração (1s): 30 kA;
  - Grau de proteção: IP 41;
  - Dimensões:
    - Altura: 2000 mm;
    - Largura: 600 mm;
    - Profundidade: 400 mm;
    - Módulos: 50 mm, com máximo de 36 por coluna.

Os dois modelos sugeridos são muito semelhantes, com qualidade certificada e ambos atendem às especificações desejadas para o projeto. Porém, o modelo escolhido é o Blokset, da Schneider Electric (Figura 48), principalmente por permitir um número maior de módulos, o que possibilita uma distribuição melhor dos disjuntores no painel.

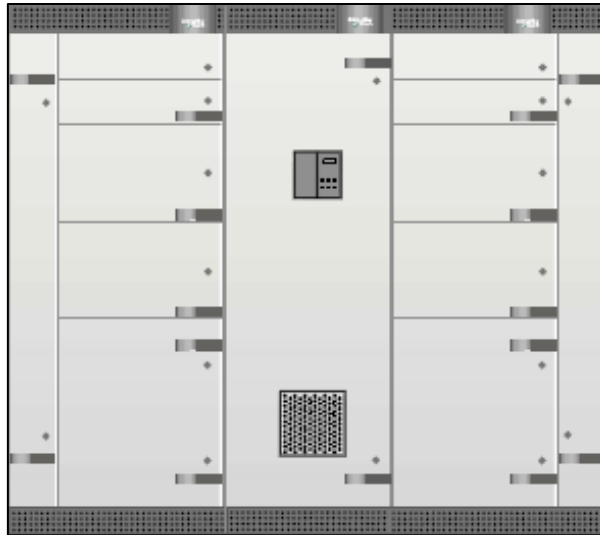


Figura 48– Painel geral de baixa tensão (Blokset) [19].

#### 4.2.2. Banco de Capacitores

Para o dimensionamento de um banco de capacitores para correção do fator de potência, é necessário conhecer os valores da demanda de potência ativa e o fator de potência. Os números a seguir foram obtidos realizando uma média aritmética nas contas de energia elétrica nos meses de maior consumo (período úmido – Dezembro a Abril):

- Demanda: 227 kW
- Fator de potência: 0,88

Como o fator de potência mínimo permitido é de 0,92, este será o valor estabelecido para o cálculo do banco. Existem dois métodos de se fazer esse cálculo: analítico e tabular.

##### 4.2.2.1. Método Analítico [17]

$$FP_{ATUAL} = 0,88 \rightarrow \phi_{ATUAL} = \cos^{-1} 0,88 = 28,36^\circ$$

$$FP_{DESEJADO} = 0,92 \rightarrow \phi_{DESEJADO} = \cos^{-1} 0,92 = 23,07^\circ$$

A potência do banco de capacitores pode ser encontrada através da seguinte fórmula:

$$Q_{CAPACITORES} = P_{ATIVA} * (\tan \phi_{ATUAL} - \tan \phi_{DESEJADO})$$

$$= 227 \text{ kW} * (\tan 28,36^\circ - \tan 23,07^\circ) = 227 * 0,1139$$

$$Q_{CAPACITORES} = 25,85 \text{ kVar}$$

#### 4.2.2.2. Método Tabular

Outro método comum para o cálculo da potência do banco de capacitores é a utilização da Figura 49, encontrada a seguir. Nela, com os valores do fator de potência atual e desejado, é possível achar um fator multiplicador.

Fator de potência atual	Fator de potência desejado (F)															
	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	
0,50	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,440	1,481	1,529	1,589	
0,52	1,023	1,050	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	
0,54	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	
0,56	0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,054	1,085	1,117	1,151	1,188	1,229	1,277	1,337	
0,58	0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,979	1,010	1,042	1,076	1,113	1,154	1,202	1,262	
0,60	0,713	0,740	0,766	0,793	0,821	0,849	0,877	0,907	0,938	0,970	1,004	1,041	1,082	1,130	1,190	
0,62	0,646	0,673	0,699	0,726	0,754	0,782	0,810	0,840	0,871	0,903	0,937	0,974	1,015	1,063	1,123	
0,64	0,581	0,608	0,634	0,661	0,689	0,717	0,745	0,775	0,806	0,838	0,872	0,909	0,950	0,998	1,068	
0,66	0,518	0,545	0,571	0,598	0,626	0,654	0,682	0,712	0,743	0,775	0,809	0,846	0,887	0,935	0,995	
0,68	0,458	0,485	0,511	0,538	0,566	0,594	0,622	0,652	0,683	0,715	0,749	0,786	0,827	0,875	0,935	
0,70	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,594	0,625	0,657	0,691	0,728	0,769	0,817	0,877	
0,72	0,344	0,371	0,397	0,424	0,452	0,480	0,508	0,538	0,569	0,601	0,635	0,672	0,713	0,761	0,821	
0,74	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,483	0,514	0,546	0,580	0,617	0,658	0,706	0,766	
0,76	0,235	0,262	0,288	0,315	0,343	0,371	0,399	0,429	0,460	0,492	0,526	0,563	0,604	0,652	0,712	
0,78	0,182	0,209	0,235	0,262	0,290	0,318	0,346	0,376	0,407	0,439	0,473	0,510	0,551	0,599	0,659	
0,80	0,130	0,157	0,183	0,210	0,238	0,266	0,294	0,324	0,355	0,387	0,421	0,458	0,499	0,547	0,609	
0,82	0,078	0,105	0,131	0,158	0,186	0,214	0,242	0,272	0,303	0,335	0,369	0,406	0,447	0,495	0,555	
0,84	0,026	0,053	0,079	0,106	0,134	0,162	0,190	0,220	0,251	0,283	0,317	0,354	0,395	0,443	0,503	
0,86			0,026	0,053	0,081	0,109	0,137	0,167	0,198	0,230	0,264	0,301	0,342	0,390	0,450	
0,88					0,028	0,056	0,084	0,114	0,145	0,177	0,211	0,248	0,289	0,337	0,397	
0,90							0,028	0,058	0,089	0,121	0,155	0,192	0,233	0,281	0,341	
0,92									0,031	0,063	0,097	0,134	0,175	0,223	0,283	
0,94											0,034	0,071	0,112	0,160	0,229	
0,96													0,041	0,089	0,149	
0,98															0,060	

Figura 49 – Tabela para definição do fator multiplicador para cálculo da potência do banco de capacitores [26].

No caso do projeto, com 0,88 de FP atual e 0,92 de FP desejado, esse fator multiplicador é 0,114. Multiplicando este valor pela potência ativa da instalação:

$$Q_{CAPACITORES} = P_{ATIVA} * FATOR MULTIPLICADOR = 227 * 0,114 = \mathbf{25,88\ kVAr}$$

Como se pode perceber, os valores encontrados nos dois métodos são praticamente o mesmo, não influenciando no resultado final a escolha de um deles. Por falta de melhores indicações, a potência do banco terá um acréscimo de 30% como previsão de aumento de carga no futuro. Logo:

$$Q_{CAPACITORES} = 25,88 * 1,30 = \mathbf{33,64\ kVAr}$$

De acordo com a seção 9 do RECON MT, não são permitidas as instalações de banco de capacitores fixos. Portanto, o projeto consiste na correção do fator de potência através de bancos de capacitores automáticos. Eles devem possuir proteção geral para o banco e individual para cada estágio.

Para distribuir essa potência pelo banco, é preciso saber a potência mínima da instalação, que normalmente ocorre no período noturno durante a semana e nos finais de semana. A potência consumida nesses períodos é de aproximadamente 25 kW e se deve basicamente a algumas cargas [22]:

- Alguns equipamentos do LAMIN que precisam permanecer ligados nesse período, devido à sua calibração e possíveis estudos em andamento;
- Iluminação da fachada.

Logo, para o cálculo do valor de potência no 1º estágio do banco, aplicamos o método tabular usado anteriormente:

$$Q_{1^{\circ} ESTÁGIO} = P_{ATIVA,mínima} * FATOR MULTIPLICADOR = 25 * 0,114 = 2,85\ kVAr$$

Como o capacitor do 1º estágio não pode ser maior que este valor – para evitar que o mesmo não seja acionado – a lógica utilizada será a 1-2-4-4-4 para um total de 5 estágios. Isto quer dizer que o banco se distribuirá da seguinte forma:

- 1º estágio: 2,5 kVAr;
- 2º estágio: 5 kVAr;
- 3º estágio: 10 kVAr;

- 4º estágio: 10 kVAr;
- 5º estágio: 10 kVAr;

Portanto, o valor total do banco será de 37, 5 kVAr. Este valor é suficiente para compensar a energia reativa gerada na instalação, permitindo uma redução no valor da conta de energia elétrica, além de um melhor funcionamento do sistema e dos equipamentos nele presente.

Como o painel de baixa tensão escolhido para o projeto pertence a Schneider Electric, faz sentido a utilização do banco de capacitores da mesma marca, de modo a facilitar a adequação ao painel. Portanto, serão especificados os capacitores Varplus<sup>2</sup> (Figura 50) e o controlador automático Varlogic (Figura 51):

➤ **VARPLUS<sup>2</sup> – SCHNEIDER ELECTRIC** [18]:

- Vida útil de 15 anos;
- Proteção contra curto-circuito e aquecimento excessivo interno;
- Grau de proteção IP 20 (com capa protetora);
- Perdas inferiores a 0,5 W por kVAr;
- Resistência de descarga;
- Características técnicas:
  - Tensão nominal: 220 V;
  - Frequência nominal: 60 Hz;
  - Isolação: 4 kV por 1 minuto;
  - Potências reativas de 2,5; 5,5 e 11 kVAr.



Figura 50 – Capacitores (Varplus<sup>2</sup>) [18].

➤ **VARLOGIC** – *SCHNEIDER ELECTRIC* [18]:

- Funções como medidor de grandezas elétricas, sensor de temperatura e alarmes;
- Navegação realizada através de botões sobre um menu intuitivo e de fácil compreensão;
- Atende as normas: IEC61010-1, IEC60529, IEC61326, IEC61000-6-2 E IEC61000-6-4;
- Possuem programas de controle de vários tipos, permitindo as mais diversas combinações de estágios;
- Características técnicas:
  - Ajuste do fator de potência: 0,85 indutivo a 0,9 capacitivo;
  - Tensão auxiliar nominal: 220 V;
  - Tensão de operação nominal: 220 V;
  - Frequência nominal: 60 Hz;
  - Grau de Proteção: IP 20;
  - Máximo de 6 estágios;
  - 4 botões de navegação.



Figura 51 – Controlador automático (Varlogic) [18].

### 4.3. ACESSO

As portas de acesso à subestação deverão ser metálicas e abrir para fora. As portas deverão possuir dispositivo para cadeado ou fechadura padrão da concessionária e apresentar facilidade de abertura pelo lado interno.

A porta principal deverá possuir dimensão superior à mínima permitida, que é 2,10 m x 0,80 m segundo a norma NBR 14039, para a passagem de equipamentos. O tamanho atual da porta, 3,3 m x 1,5 m, é suficiente e supre as necessidades de acesso. É necessária a instalação de dispositivo para manter a porta aberta no caso de retirada ou inserção de equipamentos no interior da subestação. Deverá ser construída uma pequena rampa de acesso para a entrada e saída de equipamentos sem a necessidade de içamento, já que a subestação está a um nível (20 cm) mais alto que o solo.

A porta de emergência, com dimensões de 2,2 m x 1,0 m, também possui tamanho compatível com sua necessidade, precisando apenas ser metálica.

### 4.4. SINALIZAÇÃO

A sinalização da subestação deverá ser feita através da instalação de placas visando facilitar a identificação da mesma, de acordo com as exigências da norma NR-10. Essas placas deverão ser confeccionadas segundo o padrão a seguir:

- Placa de acrílico com a inscrição “SUBESTAÇÃO Nº 1”, na cor branca, com as letras na cor vermelho escuro, nas dimensões de 400 mm x 150 mm, para instalação na parede externa da subestação;
- Placa de acrílico com a inscrição "ÁREA RESTRITA", na cor branca, com as letras na cor preto, nas dimensões de 200 mm x 50 mm, para instalação nas portas principal e de emergência externa da subestação;
- Placa de alumínio anodizado na cor natural, nas dimensões de 300 mm x 150 mm, com caracteres em caixa alta h=15cm, na cor vermelha gravados por impressão fotomecânica, com os dizeres "ALTA TENSÃO", e "PERIGO DE MORTE", para instalação nas portas principal e de emergência externa da subestação.



Também deverão ser instaladas plaquetas de sinalização dentro da subestação para identificação do cubículo de média tensão, seccionadores, transformadores, painel de baixa tensão e portas de acesso, capazes de orientar, de forma clara, as operações e atitudes dentro da subestação de energia elétrica.

#### **4.5. ESTRUTURA FÍSICA**

Durante a elaboração deste projeto, foram executados alguns serviços de melhoria na estrutura física da subestação, tais como o conserto do telhado e pintura das paredes externas. Porém, ainda são necessários outros serviços, que serão descritos a seguir:

- Instalação de estrados isolantes elétricos no piso da subestação, com capacidade de isolamento elétrica de 15 kV, cor preta, constituído de borracha robusta, macia e flexível, com textura recartilhada de relevo antiderrapante [5];
- Instalação de fita para demarcação de solo, constituídas de dorso de PVC plastificado, cobertas com adesivo à base de resina e borracha, na cor amarela [29];
- Fabricação e instalação de uma caixa de vidro com uma chave de emergência da subestação nº 1, junto com um martelo para quebra do vidro em caso de necessidade, localizada ao lado da porta principal da subestação;
- Pintura do teto e das paredes na cor branca, com tinta plástica à base de acrílico, fosca, para interior, inclusive demão de massa, lixamento, limpeza, demão de selador e duas demãos de acabamento;
- Fabricação e instalação de um quadro de vidro em um lugar visível aos operadores da subestação, para a colocação do diagrama unifilar completo, de acordo com a NR-10.

## 4.6. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO

Para a correção do sistema de iluminação da subestação, deverá ser retirada toda a instalação elétrica existente no local (eletrodutos, lâmpadas incandescentes, bocais e interruptores, cabos). O novo sistema de iluminação será calculado utilizando o método do fluxo luminoso [16].

O nível de iluminância para atender ao projeto, baseando-se na Tabela 1 da norma NBR 5413 é de 200 lux. O índice local, relacionado com as dimensões do local a ser iluminado é dado pela Equação 4.6.1:

$$K = \frac{C * L}{h * (C + L)} \quad (4.6.1)$$

$K$  = índice do local;

$C$  = comprimento da subestação (m);

$L$  = largura da subestação (m);

$h$  = distância média da luminária ao plano de trabalho (m);

$$h = 1,80 - 0,8 = 1,00 \text{ m}$$

$$K = \frac{C * L}{h * (C + L)} = \frac{7,71 * 5,63}{1,00 * (7,71 + 5,63)} = \frac{43,41}{13,34} = 3,25$$

Para o cálculo do fluxo luminoso da área (Equação 4.6.2), tem-se:

$$\Phi = \frac{E * S}{F_U * F_D} \quad (4.6.2)$$

$E$  = iluminância média requerida (lux);

$S$  = área a ser iluminada (m<sup>2</sup>);

$F_U$  = fator de utilização da luminária;

$F_D$  = fator de depreciação da luminária;

Para o cálculo do fator de utilização da luminária, levam-se em conta as refletâncias do teto, paredes e piso juntamente com o índice do local. Esses valores podem ser obtidos através da tabela apresentada na Figura 52: teto branco (70%), paredes claras (50%) e piso escuro (10%). O valor de K pode ser aproximado para o valor inteiro mais próximo (no caso igual a 3,00).

K	Teto	70			50			30	
	Parede	50	30	10	50	30	10	30	10
	Plano de trabalho	10			10			10	
0,60		0,39	0,33	0,28	0,38	0,32	0,28	0,32	0,28
0,80		0,48	0,42	0,37	0,47	0,41	0,37	0,41	0,37
1,00		0,55	0,48	0,44	0,53	0,48	0,43	0,47	0,43
1,25		0,61	0,55	0,50	0,59	0,54	0,50	0,53	0,50
1,50		0,65	0,60	0,55	0,64	0,59	0,55	0,58	0,55
2,00		0,71	0,67	0,63	0,70	0,66	0,62	0,64	0,61
2,50		0,75	0,71	0,68	0,74	0,70	0,67	0,69	0,66
3,00		0,78	0,75	0,71	0,76	0,73	0,70	0,72	0,70
4,00		0,82	0,79	0,76	0,80	0,77	0,75	0,76	0,74
5,00		0,84	0,81	0,79	0,82	0,80	0,78	0,78	0,77

Figura 52 – Tabela do fator de utilização de luminárias de lâmpadas fluorescentes [16].

O fator de depreciação é relacionado com a frequência com que ocorrem as manutenções nas luminárias, evitando o acúmulo de poeira. Como a subestação terá manutenções frequentes, com limpeza acontecendo semestralmente, a Figura 53 apresenta um fator de depreciação de aproximadamente 0,82.

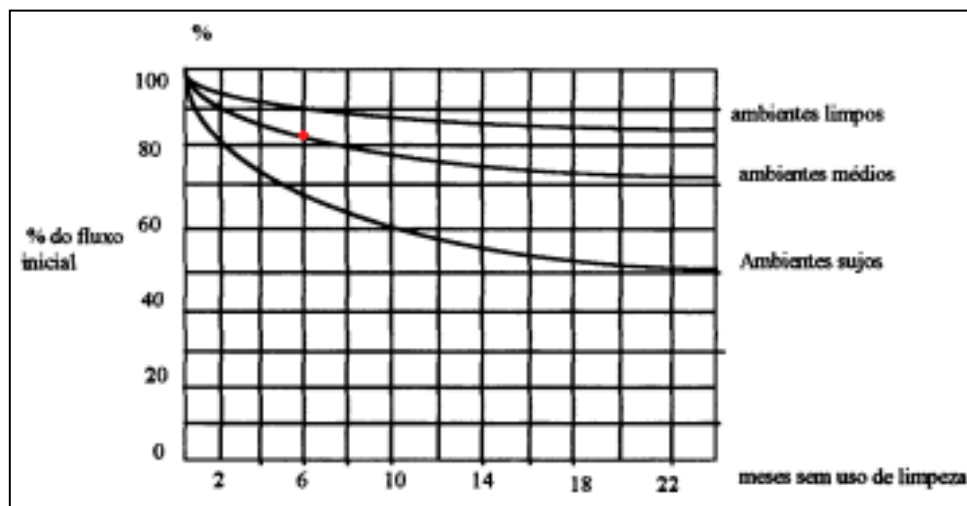


Figura 53 – Curva para determinação do fator de depreciação de [16].

Portanto, o fluxo luminoso pode ser calculado como:

$$\Phi_{TOTAL} = \frac{E * S}{F_U * F_D} = \frac{250 * (7,71 * 5,63)}{0,78 * 0,82} = \frac{10851,83}{0,64} = 16955,98 \text{ lm}$$

O número de luminárias para atender ao sistema de iluminação da subestação é calculado através da divisão entre o fluxo luminoso total e o fluxo luminoso de 1 luminária (Equação 4.6.3). Como para o projeto serão especificadas luminárias do tipo “tartaruga” para lâmpadas fluorescentes compactas de 45 W [15], tem-se:

$$N_{LUMINÁRIAS} = \frac{\Phi_{TOTAL}}{\Phi_{LÂMPADA}} \quad (4.6.3)$$

$$N_{LUMINÁRIAS} = \frac{16955,98}{2790} = 6,08 = 7 \text{ luminárias}$$

Logo, serão necessárias 7 luminárias para atender ao projeto. A disposição do sistema de iluminação pode ser encontrado no Anexo III.E. A seguir, segue a especificação necessária do sistema de iluminação da subestação:

- 7 luminárias tipo “tartaruga” à prova de explosão, para lâmpada fluorescente compacta de 45 W (Figura 54), corpo fabricado em liga de alumínio fundido copper free, resistente à corrosão, globo em vidro borossilicato, soquete de porcelana rosca E27, grade, parafusos, arruelas e chassi em aço inox, grau de proteção IP 65, com 2 entradas roscadas Ø ¾” NPT [1];
- As luminárias deverão ser instaladas a uma altura máxima de 1,80 m do piso;
- O comando necessário para o funcionamento das lâmpadas será feito através de 1 interruptor simples, com suporte e placa para 1 seção, embutido em caixa condutele do tipo sobrepor 4x2”, localizado ao lado da porta principal. Cada interruptor comandará o conjunto com as 6 luminárias;
- Eletroduto rígido de PVC, Ø ¾” para passagem do cabeamento;
- Cabos de fase (vermelho) e neutro (azul-claro), com bitola de 2,5 mm<sup>2</sup> para a ligação da instalação.



Figura 54 – Luminária tipo “tartaruga” [1].

Um quadro de distribuição para 6 disjuntores monopolares, no mínimo, também deverá ser instalado para realizar a alimentação e proteção dos sistemas de iluminação e ventilação, que será nomeado de QDLF-1.

O objetivo deste novo sistema é atender a iluminação da subestação e facilitar as manutenções, sem a necessidade da utilização de escada.

Para maior segurança, deverão ser instaladas 2 luminárias de emergência (Figura 55), com as seguintes especificações [28]:

- Equipada com dois faróis halógenos de 55 W;
- Corpo em termoplástico autoextinguível;
- Possui sensor de luminosidade, evitando seu acionamento enquanto o ambiente estiver com iluminação suficiente, acima de 16 lux;
- Autonomia mínima de 2 horas;
- Grau de proteção: IP 20.



Figura 55 – Luminária de emergência [28].

## 4.7. SISTEMA DE VENTILAÇÃO

Um sistema de ventilação adequado requer um exaustor capaz de gerar uma ventilação forçada em caso de aumento de temperatura no interior da subestação, impedindo um aquecimento indesejável nos equipamentos. A seguir, as especificações do exaustor para atender a subestação do projeto (Figura 56) [25]:

- Fabricado em chapa de aço carbono e pintado em esmalte sintético;
- Hélices de 6 paletas de alumínio especial;
- Mancais com rolamento de esfera, proporcionando baixo nível de ruído e grande durabilidade;
- Grades externas de proteção;
- Características técnicas:
  - Tipo axial;
  - Motor monofásico;
  - Diâmetro externo: 500 mm;
  - Potência: 1 HP;
  - Rotação do motor: 1650 rpm;
  - Vazão: 145 m<sup>3</sup>/min;
  - Ruído: 83 dB;
  - Frequência: 60 Hz.



Figura 56 – Exaustor axial monofásico [25].

As janelas estão em quantidade aceitável. Portanto, será necessário um processo de restauração nas alavancas dos basculantes, pintura em sua estrutura metálica e limpeza dos vidros.

## 4.8. SEGURANÇA

Com a instalação desses novos equipamentos, a subestação se torna um local muito mais seguro, pois todos os equipamentos de média tensão terão resistência ao arco elétrico, além de estarem protegidos por invólucros que garantirão a segurança de todos na subestação. As novas sinalizações permitirão uma atuação mais correta, reduzindo a possibilidade de manobras equivocadas.

## 4.9. SISTEMA DE ATERRAMENTO

O sistema de aterramento de uma subestação deve ser construído para garantir a segurança do sistema, dos equipamentos e das pessoas que lá trabalham. Existem diversas formas de construir um sistema de aterramento eficaz. Os mais comuns são: haste única cravada no solo; hastes alinhadas a espaçamentos iguais; hastes dispostas em formatos triangular, quadrangular ou em circunferência; placas condutoras enterradas no solo; fios ou cabos enterrados no solo.

Para atender a este projeto, será escolhido um sistema de aterramento em forma de malha, consistindo em cabos de cobre nu, interligados a hastes metálicas enterradas no solo. Este sistema é reconhecidamente um dos métodos mais eficientes de obter um bom aterramento.

Antes de começar o dimensionamento da malha de aterramento, é necessário saber alguns parâmetros importantes sobre o solo da região onde se localiza a subestação. A resistividade do solo, medida em 2011, possui valor de 72,3  $\Omega\text{m}$ .

A malha deverá possuir área de 52,5 m<sup>2</sup>, conter 12 nós, com 4 hastes metálicas cravadas em seus vértices, dispostas conforme o Anexo III.D. O cabo condutor de interligação deve possuir 50,5 m de comprimento e seção de 50 mm<sup>2</sup>, e devem estar enterrados a 0,5 m no solo. As hastes deverão ter comprimento de 3,0 metros, com bitola de ¾" (0,01905 metros).

Para auxiliar o cálculo da resistência de aterramento desta malha, será utilizado como referência [6] e a fórmula de Sverak (Equação 4.9.1), encontrada na norma IEEE Std 80:

$$R_M = \rho_a \left[ \frac{1}{L_t} + \frac{1}{\sqrt{20A_m}} \left( 1 + \frac{1}{1 + h_m \sqrt{\frac{20}{A_m}}} \right) \right] \quad (4.9.1)$$

$R_M$  = resistência de aterramento da malha, em ohms ( $\Omega$ );

$\rho_a$  = resistividade aparente do solo medida, em ohms – metro ( $\Omega m$ );

$A_m$  = área ocupada pela malha, em metros quadrados ( $m^2$ );

$$A_m = 7,5 * 7,0 = 52,5 m^2$$

$L_t$  = comprimento total dos cabos e hastes que formam a malha, em metros (m) ;

$$L_t = L_{cabos} + L_{hastes}$$

$$L_{cabos} = [(7,5 * 3) + (7,0 * 4)] = 22,5 + 28,0 = 50,5 m$$

$$L_{hastes} = 3,0 * 4 = 12,0 m$$

$$L_t = L_{cabos} + L_{hastes} = 50,5 + 12,0 = 62,5 m$$

$h_m$  = profundidade da malha, em metros (m);

$$R_M = 72,3 \left[ \frac{1}{62,5} + \frac{1}{\sqrt{20 * 52,5}} \left( 1 + \frac{1}{1 + 0,5 \sqrt{\frac{20}{52,5}}} \right) \right] = 5,093 \Omega$$

Este valor de resistência satisfaz o projeto, já que é inferior ao valor máximo permitido. Com isso, podem-se especificar todos os materiais que serão utilizados para a construção da malha. Os principais componentes desse sistema são:

- 12 caixas de inspeção de aterramento em cimento agregado, dimensões de 32 cm x 32 cm, com tampa de ferro fundido;



- 4 hastes de aterramento fabricadas com núcleo de aço SAE 1045 ou superior, revestido com espessa camada de cobre eletrolítico do tipo com camada alta, com diâmetro de 3/4'', e devem ter comprimento de 3 metros. Devem ser fabricadas seguindo as recomendações da norma NBR 13571 da ABNT;
- Cordoalha de cobre nu de 50 mm<sup>2</sup> para a interligação da malha;
- Cordoalha de cobre nu de 35 mm<sup>2</sup> para a interligação dos equipamentos e partes metálicas da subestação à malha de aterramento;
- Conectores do sistema de aterramento à compressão para ligação dos condutores de cobre às hastes de aterramento.

A ligação de aterramento dos seguintes equipamentos presentes na subestação deve ser realizada de acordo com a norma ABNT 15751:

- Ligação de aterramento do painel blindado de média tensão e seus componentes;
- Ligação de aterramento dos transformadores de potência trifásicos;
- Ligação de aterramento dos bancos de capacitores automáticos;
- Ligação de aterramento do Quadro Geral de Baixa Tensão;
- Ligação de aterramento do QDLF-1, que atende aos sistemas de iluminação e ventilação;
- Ligação de aterramento das portas metálicas da subestação.

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÃO

Este trabalho teve como proposta realizar um projeto de modernização da subestação consumidora principal da empresa CPRM, com a finalidade de melhorar suas condições de funcionamento, adequando-a as atuais normas estabelecidas pelos órgãos regulamentadores.

Verificou-se através de visitas técnicas, acompanhadas pelo engenheiro eletricista da empresa Luciano Baracho, que as condições físicas e operacionais da subestação nº 1 apresentavam-se inadequadas, com equipamentos completamente fora dos padrões de segurança permitidos pelas normas vigentes e as instalações em péssimo estado de conservação. Constatou-se a necessidade de melhorar as condições de funcionamento da subestação, modernizando-a através da substituição dos atuais equipamentos por outros novos, mais seguros, eficientes e confiáveis, possibilitando um desempenho mais adequado ao sistema elétrico responsável por atender toda a empresa.

Para atingir este objetivo, o trabalho foi dividido em 3 partes: na primeira parte foram apresentados os principais fundamentos teóricos de uma subestação, ressaltando sua importância dentro do sistema elétrico. Num segundo momento, foi realizado um levantamento da atual situação da subestação, comprovando através de fotos e de um diagnóstico a necessidade de intervenção. Por último, a proposta de modernização da subestação foi descrita, utilizando como base as normas técnicas da ABNT e catálogos dos fabricantes mais reconhecidos no mercado, para a especificação dos equipamentos elétricos.

Os conhecimentos adquiridos na formação acadêmica, aliados a experiência obtida no período de estágio na empresa, foram de suma importância para o desenvolvimento deste trabalho, pois possibilitaram observar e detectar as irregularidades encontradas na subestação, que podem afetar o desempenho do sistema elétrico da empresa e propor soluções para os problemas como elaborar o projeto de modernização da subestação.

O processo de pesquisa e de levantamento para este trabalho permitiu verificar na prática o funcionamento de uma subestação, assim como de seus equipamentos entendendo, em situação real, o que foi aprendido no curso da graduação. O aprendizado acadêmico possibilitou analisar se uma subestação ou equipamentos encontram-se fora dos padrões aceitáveis por normas.

Destaca-se também, que entender a importância da aplicação dos procedimentos de segurança em áreas de serviços com eletricidade, com a adoção principalmente da norma NR-10, é fundamental para garantir a segurança de todos os trabalhadores que atuam nessas áreas, permitindo-os trabalhar sem riscos de acidentes.

A maior dificuldade encontrada para a elaboração do projeto foi o acesso limitado à subestação, pelo fato de não possuir capacitação e habilitação (NR-10) para transitar nesse local, dependendo d acompanhamento de um profissional qualificado para realizar este procedimento. Outra dificuldade foi o acesso a documentos e informações sobre a subestação, anteriores a este levantamento.

Este trabalho será apresentado à empresa CPRM e poderá servir como referência técnica para um futuro projeto básico de modernização da subestação principal, permitindo a empresa consultar o levantamento e o diagnóstico da atual situação, assim como as especificações técnicas listadas dos equipamentos apropriados a um melhor desempenho da subestação.

Para futuros trabalhos, sugere-se um estudo do consumo de energia da empresa, com a apresentação e análise de alternativas que resultem em uma redução no **valor** da conta de luz e uma otimização da energia utilizada, como por exemplo, comparação entre as tarifas ofertadas pelo mercado e/ou a instalação de um grupo motor-gerador para geração de energia no período de ponta (entre às 17:30 e 20:30). Com isso, a empresa obteria uma diminuição nos gastos nas contas de energia, podendo realocar seus recursos em outros tipos de pesquisa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BLINDA – Luminária tartaruga a Prova de Explosão. Disponível em <http://www.blinda.com/pdf/58.pdf>. Acesso em 11 de janeiro de 2012.
- [2] CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA CELSO SUCKOW DA FONSECA. *Subestações: Tipos, Equipamentos e Proteção*. Disponível em <http://www.uff.br/lev/downloads/apostilas/SE.pdf>. Novembro de 1999.
- [3] FERREIRA, Pedro A.G. *Avaliação da distância de proteção em instalações de para-raios: descargas atmosféricas em subestações elétricas*. Disponível em <http://pt.scribd.com/doc/45233423/Para-Raios-Trabalho-Final>. Acesso em 23 de junho de 2012.
- [4] HERSZTERG, I. *Notas de Aula*. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2011.
- [5] INSTRUTOY PISOS – Estrados de Segurança Isolante Elétrico. Disponível em <http://www.instrutoypisos.com.br/eb/estrado-isolante-eletrico.php>. Acesso em 04 de junho de 2012.
- [6] KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. *Aterramento Elétrico*. 3ª edição. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto Editores. 1995.
- [7] KINDERMANN, G. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência – Volume 1*. 2ª Edição. Florianópolis: Edição do Autor. 2005.
- [8] MAMEDE FILHO, J. *Instalações elétricas industriais*, 6ª Edição. Rio de Janeiro: LTC Editora.
- [9] MAMEDE FILHO, J. *Manual dos Equipamentos Elétricos – Volume 1*. Rio de Janeiro: LTC Editora. 1993.
- [10] MAMEDE FILHO, J. *Manual dos Equipamentos Elétricos – Volume 2*. Rio de Janeiro: LTC Editora. 1993.

- [11] NEMÉSIO SOUSA, J. *Material Didático da Disciplina Equipamentos Elétricos – Transformadores de Corrente*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [12] NEMÉSIO SOUSA, J. *Material Didático da Disciplina Equipamentos Elétricos – Transformadores de Potencial*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [13] NEMÉSIO SOUSA, J. *Material Didático da Disciplina Equipamentos Elétricos – Disjuntores*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [14] NEMÉSIO SOUSA, J. *Material Didático da Disciplina Equipamentos Elétricos – Chaves*. Universidade Federal do Rio de Janeiro.
- [15] OSRAM. Catálogo Geral 2011-2012. Disponível em [http://www.osram.com.br/osram\\_br/Ferramentas\\_&\\_Catlogos/\\_pdf/Arquivos/Iluminacao\\_Geral/Catlogo\\_Geral\\_2011-2012/AF\\_03\\_fluorcompactas\\_spreads-print.pdf](http://www.osram.com.br/osram_br/Ferramentas_&_Catlogos/_pdf/Arquivos/Iluminacao_Geral/Catlogo_Geral_2011-2012/AF_03_fluorcompactas_spreads-print.pdf). Acesso em 29 de agosto de 2012.
- [16] PAZZINI, L.H.A. *Instalações elétricas*. Faculdades Integradas de São Paulo.
- [17] SADIKU, Matthew N.O.; ALEXANDER, Charles K.; trad Gustavo Guimarães Parma. *Fundamentos de Circuitos Elétricos*. Porto Alegre: Bookman. 2003.
- [18] SCHNEIDER-ELECTRIC. *Catálogo 2008 – Varlogic e Varplus<sup>2</sup>*. Disponível em [http://www.global-download.schneider-electric.com/852575770039EC5E/all/5B35695EA101D4B8852576580065A5C6/\\$File/panorama\\_varlogic\\_varplus2.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/852575770039EC5E/all/5B35695EA101D4B8852576580065A5C6/$File/panorama_varlogic_varplus2.pdf). Acesso em 22 de maio de 2012.
- [19] SCHNEIDER-ELECTRIC. *Catálogo Geral – Painele Bloket*. Download disponível em [http://www.schneider-electric.com.br/sites/brasil/pt/produtos-servicos/distribuicao-electrica/oferta-de-produtos/apresentacao-gama.page?c\\_filepath=/templatedata/Offer\\_Presentation/3\\_Range\\_Datasheet/data/pt/local/electrical\\_distribution/bloket.xml&p\\_function\\_id=98&p\\_family\\_id=158&p\\_range\\_id=820&f=F13%3ADistribui%C3%A7%C3%A3o%20El%C3%A9trica~!NNM1:Pain%C3%A9is+e+Quadros+de+distribui%C3%A7%C3%A3o~!NNM2:Painel+BT~!NNM3:Bloket#](http://www.schneider-electric.com.br/sites/brasil/pt/produtos-servicos/distribuicao-electrica/oferta-de-produtos/apresentacao-gama.page?c_filepath=/templatedata/Offer_Presentation/3_Range_Datasheet/data/pt/local/electrical_distribution/bloket.xml&p_function_id=98&p_family_id=158&p_range_id=820&f=F13%3ADistribui%C3%A7%C3%A3o%20El%C3%A9trica~!NNM1:Pain%C3%A9is+e+Quadros+de+distribui%C3%A7%C3%A3o~!NNM2:Painel+BT~!NNM3:Bloket#). Acesso em 29 de julho de 2011.

- [20] SCHNEIDER-ELECTRIC. *Catálogo Geral – SM6 até 24 kV*. Download disponível em [http://www.schneider-electric.com.br/sites/brasil/pt/produtos-servicos/automacao-de-sistemas-electricos/oferta-de-produtos/apresentacao-gama.page?c\\_filepath=/templatedata/Offer\\_Presentation/3\\_Range\\_Datasheet/data/pt/loc/al/electrical\\_system\\_automation/sm6\\_24.xml&p\\_function\\_id=14&p\\_family\\_id=160&p\\_range\\_id=970&f=F13%3ADistribui%C3%A7%C3%A3o%20El%C3%A9trica~!NNM1:Equipamentos+e+Sistemas+de+MT~!F23%3ASubesta%C3%A7%C3%B5es~!NNM2:Pain%C3%A9is+Isolados+a+Ar~!NNM3:SM6-24#](http://www.schneider-electric.com.br/sites/brasil/pt/produtos-servicos/automacao-de-sistemas-electricos/oferta-de-produtos/apresentacao-gama.page?c_filepath=/templatedata/Offer_Presentation/3_Range_Datasheet/data/pt/loc/al/electrical_system_automation/sm6_24.xml&p_function_id=14&p_family_id=160&p_range_id=970&f=F13%3ADistribui%C3%A7%C3%A3o%20El%C3%A9trica~!NNM1:Equipamentos+e+Sistemas+de+MT~!F23%3ASubesta%C3%A7%C3%B5es~!NNM2:Pain%C3%A9is+Isolados+a+Ar~!NNM3:SM6-24#). Acesso em 03 de setembro de 2011.
- [21] SCHNEIDER-ELECTRIC. Catálogo on line: *Resimold Resiglas – Transformadores a seco*. Disponível em [http://www.global-download.schneider-electric.com/85257689000007EE/all/5234A12B5E4652D58525789B005E17A6/\\$File/resimold%20resiglas%20pt.pdf](http://www.global-download.schneider-electric.com/85257689000007EE/all/5234A12B5E4652D58525789B005E17A6/$File/resimold%20resiglas%20pt.pdf). Acesso em 28 de julho de 2011.
- [22] SIBRATEC. *Projeto de bancos automáticos de capacitores*. Disponível em <http://www.sibratec.ind.br/index.php?pg=7&id=18>. Acesso em 21 de maio de 2012.
- [23] SIEMENS. Catálogo on line: *Geafol – Transformadores a seco em resina*. Disponível em <http://www.siemens.com.br/upfiles/285.pdf>. Acesso em 30 de julho de 2011.
- [24] SIEMENS. Catálogo on line: *SIVACON S4*. Disponível em [https://brandville.siemens.com/web/bv/ebook/stream/eBook?e\\_id=131b4d46ade0ec03#/0](https://brandville.siemens.com/web/bv/ebook/stream/eBook?e_id=131b4d46ade0ec03#/0). Acesso em 16 de maio de 2012.
- [25] VENTISILVA – Catálogo on line. Disponível em <http://ventisilva.com.br/catalogos.pdf>. Acesso em 19 de junho de 2012.
- [26] WEG. Catálogo on line: *Capacitores para correção de fator de potência*. Disponível em <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-capacitores-para-correcao-do-fator-de-potencia-50009818-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em 20 de maio de 2012.
- [27] WEG. Catálogo on line: *Transformadores Secos*. Disponível em <http://catalogo.weg.com.br/files/wegnet/WEG-transformadores-secos-50022709-07.11-catalogo-portugues-br.pdf>. Acesso em 28 de julho de 2011.

[28] WETZEL – Luminária de Emergência. Disponível em [http://www.wetzel.com.br/pt/eletro\\_catalogo/index.php?cat=9](http://www.wetzel.com.br/pt/eletro_catalogo/index.php?cat=9). Acesso em 05 de junho de 2012.

[29] 3M – Fita de demarcação de solo. Disponível em [http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt\\_BR/DivisaoAutos/Home/outrasSol/outrasSolFitas/FitDemaSolo471/](http://solutions.3m.com.br/wps/portal/3M/pt_BR/DivisaoAutos/Home/outrasSol/outrasSolFitas/FitDemaSolo471/). Acesso em 04 de junho de 2012.

# ANEXO I



## LEGENDA

### TERRENO:

ÁREA TOTAL - 23.194,00 m²

### Bloco A1:

4 PAVIMENTOS - Área 7.042,60 m²

### Bloco A2:

4 PAVIMENTOS - Área 2.067,50 m²

### Bloco A3:

3 PAVIMENTOS - Área 7.420,00 m²

### Bloco A4:

2 PAVIMENTOS - Área 3.151,80 m²

### Bloco A5:

2 PAVIMENTOS - Área 875,80 m²

### Bloco A6 (DESATIVADO/INCENDIADO):

ÁREA PRESERVADA

### Bloco B:

1 PAVIMENTO - Área 566,60 m²

### Bloco C (SUBESTAÇÃO PRINCIPAL):

1 PAVIMENTO - Área 47,40 m²

### Bloco D:

2 PAVIMENTOS - Área 642,40 m²

### Bloco E:

5 PAVIMENTOS - Área 1.512,00 m²

### Bloco F:

1 PAVIMENTO - Área 145,10 m²

### Bloco G:

1 PAVIMENTO - Área 268,10 m²

### Bloco H:

1 PAVIMENTO - Área 274,50 m²

### Bloco I:

1 PAVIMENTO - Área 73,60 m²

### Bloco J (CASA DE BOMBAS):

1 PAVIMENTO - Área 29,70 m²

### Bloco K: (Estacionamento Coberto)

1 PAVIMENTO - Área 199,80 m²

### Bloco L:

1 PAVIMENTO - Área 120,00 m²

### Bloco M:

1 PAVIMENTO - Área 342,56 m²

### Bloco N:

1 PAVIMENTO - Área 90,00 m²

### Bloco Q:

1 PAVIMENTO - Área 40,00 m²

### EDIFICAÇÃO 10 (creche):

1 PAVIMENTO - Área 29,70 m²

### EDIFICAÇÕES 13, 24, 25, 29 e 30 (residências):

1 PAVIMENTO - Área 309,80 m²

### EDIFICAÇÃO 18 (ASSCPRM):

1 PAVIMENTOS - Área 105,00 m²

### EDIFICAÇÃO 19 (posto bancário, ASSCPRM):

1 PAVIMENTOS - Área 141,00 m²

### EDIFICAÇÃO 19 A (Oficina, Posto Bancário e AEXEMA):

1 PAVIMENTOS - Área 107,00 m²

### EDIFICAÇÃO 20 (oficina e residência):

2 PAVIMENTOS - Área 203,70 m²

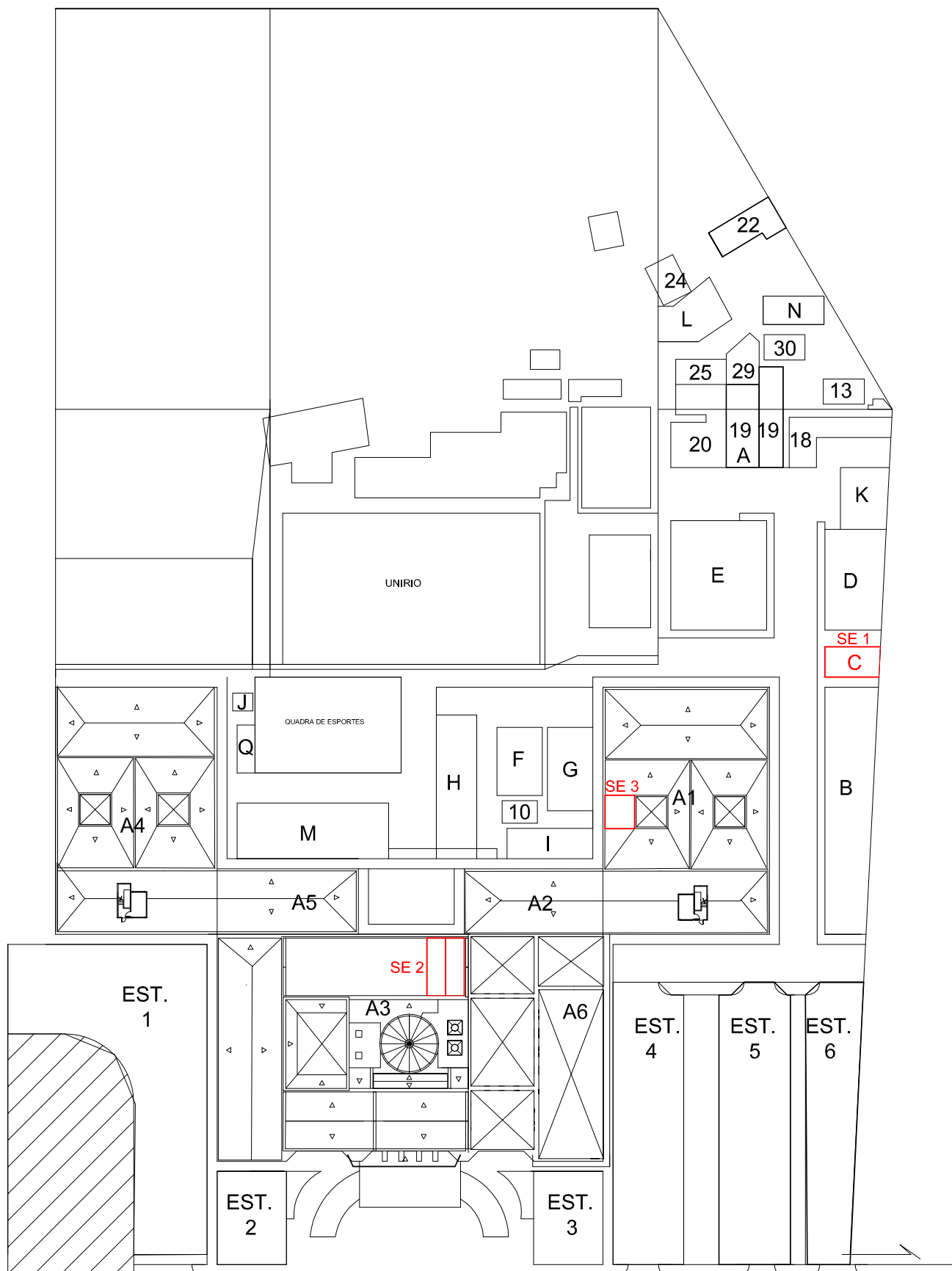
### EDIFICAÇÃO 22 (residência CONAE / AGEM):

1 PAVIMENTOS - Área 83,00 m²

### QUADRA DE ESPORTES: - Área 560,00 m²

ÁREA TOTAL CONSTRUÍDA - 26.448,66 m²

projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA DE SITUAÇÃO - LEGENDA		data 27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala S/ ESCALA	prancha ANEXO I.A



AVENIDA PASTEUR

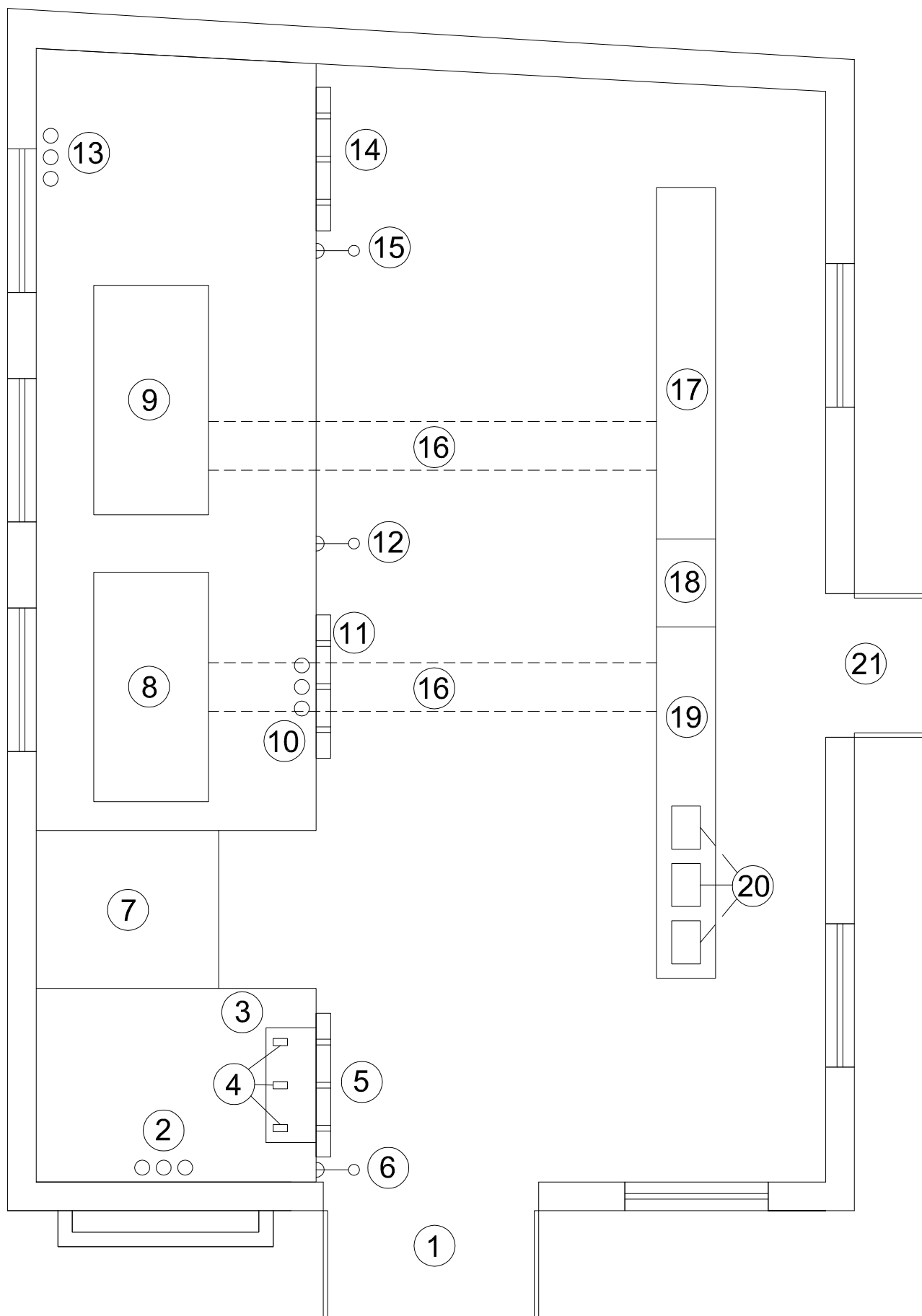
projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA DE SITUAÇÃO	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO I.A

# ANEXO II

## LEGENDA

- 1 - PORTA PRINCIPAL DA SUBESTAÇÃO Nº 1 - (3,3 m X 1,5 m)
- 2 - MUFLA DE MÉDIA TENSÃO REFERENTE À ENTRADA - 15 kV
- 3 - DISJUNTOR DE MÉDIA TENSÃO A PVO - 15 kV
- 4 - RELÉS PRIMÁRIOS - 300 A
- 5 - SECIONADOR DE ENTRADA - 15 kV
- 6 - ALAVANCA DE MANOBRA DO SECIONADOR DE ENTRADA
- 7 - MEDIÇÃO DA CONCESSIONÁRIA
- 8 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA A ÓLEO MINERAL 1
- 9 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA A ÓLEO MINERAL 2
- 10 - MUFLA DE MÉDIA TENSÃO - SE Nº 3 - 15 kV
- 11 - SECIONADOR DE SAÍDA PARA A SUBESTAÇÃO Nº 3 - 15 kV
- 12 - ALAVANCA DE MANOBRA DO SECIONADOR - SE Nº 3
- 13- MUFLA DE MÉDIA TENSÃO - SE Nº 2 - 15 kV
- 14 - SECIONADOR DE SAÍDA PARA A SUBESTAÇÃO Nº 2 - 15 kV
- 15 - ALAVANCA DE MANOBRA DO SECIONADOR - SE Nº 2
- 16 - CANALETA SUBTERRÂNEA PARA CABOS (350 mm x 350 mm)
- 17 - QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 2
- 18 - QUADRO GERAL DE INTERLIGAÇÃO
- 19 - QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO 1
- 20 - BANCO DE CAPACITORES
- 21 - PORTA DE EMERGÊNCIA DA SUBESTAÇÃO Nº 1 (2,1 m x 1,0 m)

projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA BAIXA DA SUBESTAÇÃO ATUAL - LEGENDA	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO II.A



projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA BAIXA DA SUBESTAÇÃO ATUAL	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO II.A



# QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO - ATUAL

<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>V</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>G</div><div></div></div>	<div><div>G</div><div></div></div>	<div><div>V</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>	<div><div>A</div><div></div></div>
<div><div>LAMIN</div><div></div></div>	<div><div>BLOCO B - ARPRO</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div>BLOCO E</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div>CHAVE GERAL 1</div><div></div></div>	<div><div>CHAVE DE INTERLIGAÇÃO DOS BARRAMENTOS</div><div></div></div>	<div><div>CHAVE GERAL 2</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div>BLOCO B - CECAR</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div>BLOCO D - 2º ANDAR PALEONTOLOGIA</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>	<div><div>PALEONTOLOGIA</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>
<div><div>400 A</div><div></div></div>	<div><div>400 A</div><div></div></div>	<div><div>250 A</div><div></div></div>	<div><div>400 A</div><div></div></div>	<div><div>800 A</div><div></div></div>	<div><div>800 A</div><div></div></div>	<div><div>630 A</div><div></div></div>	<div><div>630 A</div><div></div></div>	<div><div>800 A</div><div></div></div>	<div><div>630 A</div><div></div></div>	<div><div>630 A</div><div></div></div>	<div><div>250 A</div><div></div></div>	<div><div>630 A</div><div></div></div>	<div><div>250 A</div><div></div></div>	<div><div>400 A</div><div></div></div>	<div><div></div><div></div></div>

LEGENDA			
<div><div>A</div><div></div></div>	Amperímetro	<div><div></div><div></div></div>	Luz indicadora de funcionamento
<div><div>V</div><div></div></div>	Voltímetro	<div><div></div><div></div></div>	Disjuntor Tripolar
<div><div>G</div><div></div></div>	Medidor do fator de potência	<div><div></div><div></div></div>	Chave de seccionamento
<div><div></div></div>	Chave seletora de fase	<div><div></div><div></div></div>	Alavanca de manobra da chave geral

Projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	QUADRO GERAL DE BAIXA TENSÃO - ATUAL		data
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO II.C

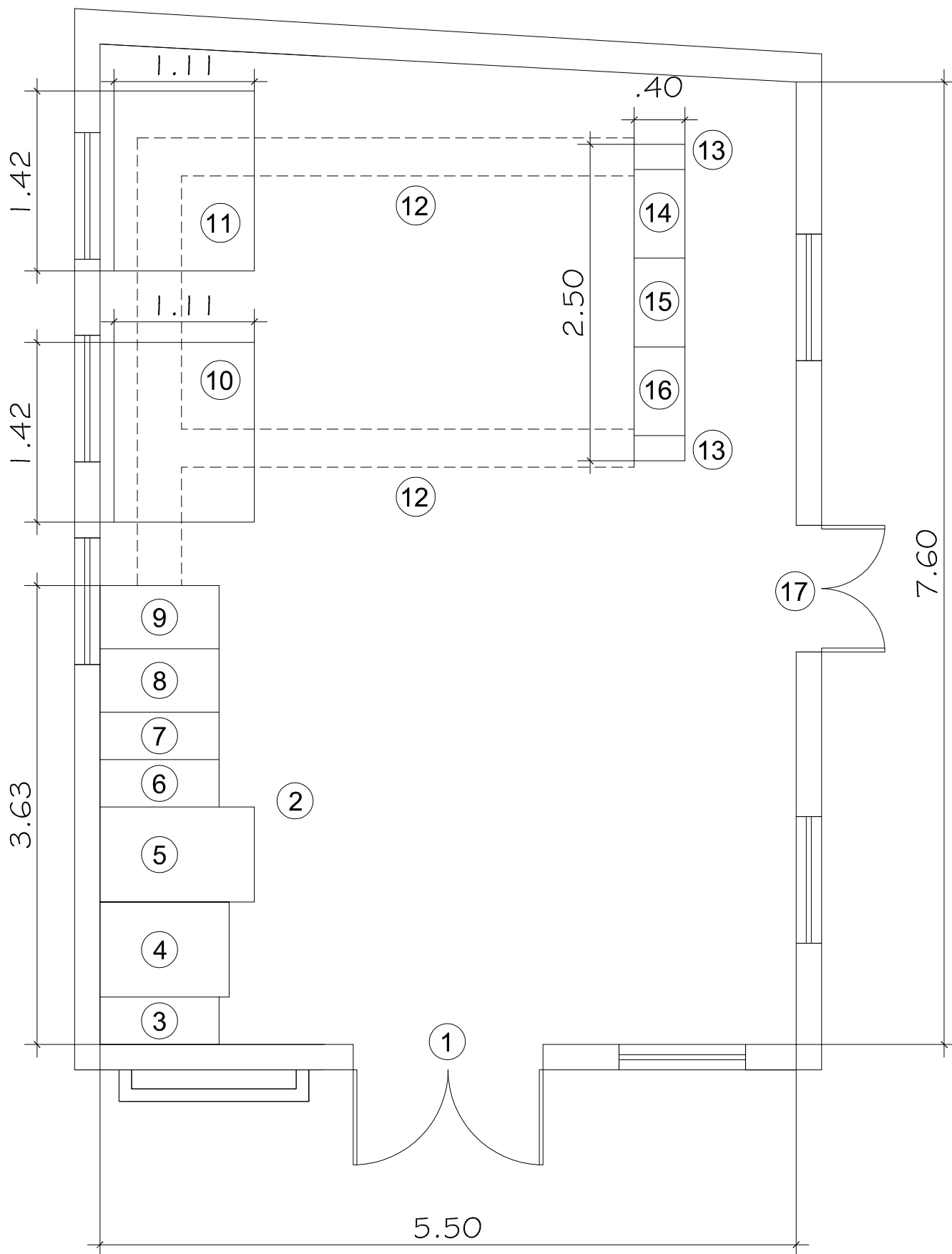
# ANEXO III



## LEGENDA

- 1 - PORTA PRINCIPAL DA SUBESTAÇÃO Nº 1 - (3,3 m X 1,5 m)
- 2 - PAINEL BLINDADO DE MÉDIA TENSÃO
- 3 - SEZIONADOR DE ENTRADA - 15 kV
- 4 - MEDIÇÃO DE ENERGIA DA CONCESSIONÁRIA
- 5 - PROTEÇÃO GERAL COM DISJUNTOR DE MÉDIA TENSÃO A SF6
- 6 - SEZIONADOR DE SAÍDA PARA A SUBESTAÇÃO Nº 2 - 15 kV
- 7 - SEZIONADOR DE SAÍDA PARA A SUBESTAÇÃO Nº 3 - 15 kV
- 8 - SEZIONADOR-FUSÍVEL - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA 1
- 9 - SEZIONADOR-FUSÍVEL - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA 2
- 10 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA A SECO 1 - 300 kVA
- 11 - TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA A SECO 2 - 300 kVA
- 12 - CANALETA SUBTERRÂNEA PARA CABOS (350 mm x 350 mm)
- 13 - PAINEL DE BAIXA TENSÃO - COMPARTIMENTO PARA CABOS
- 14 - PAINEL DE BAIXA TENSÃO 2
- 15 - PAINEL DE BANCO DE CAPACITORES
- 16 - PAINEL DE BAIXA TENSÃO 1
- 17 - PORTA DE EMERGÊNCIA DA SUBESTAÇÃO Nº 1 - (2,1 m x 1,0 m)

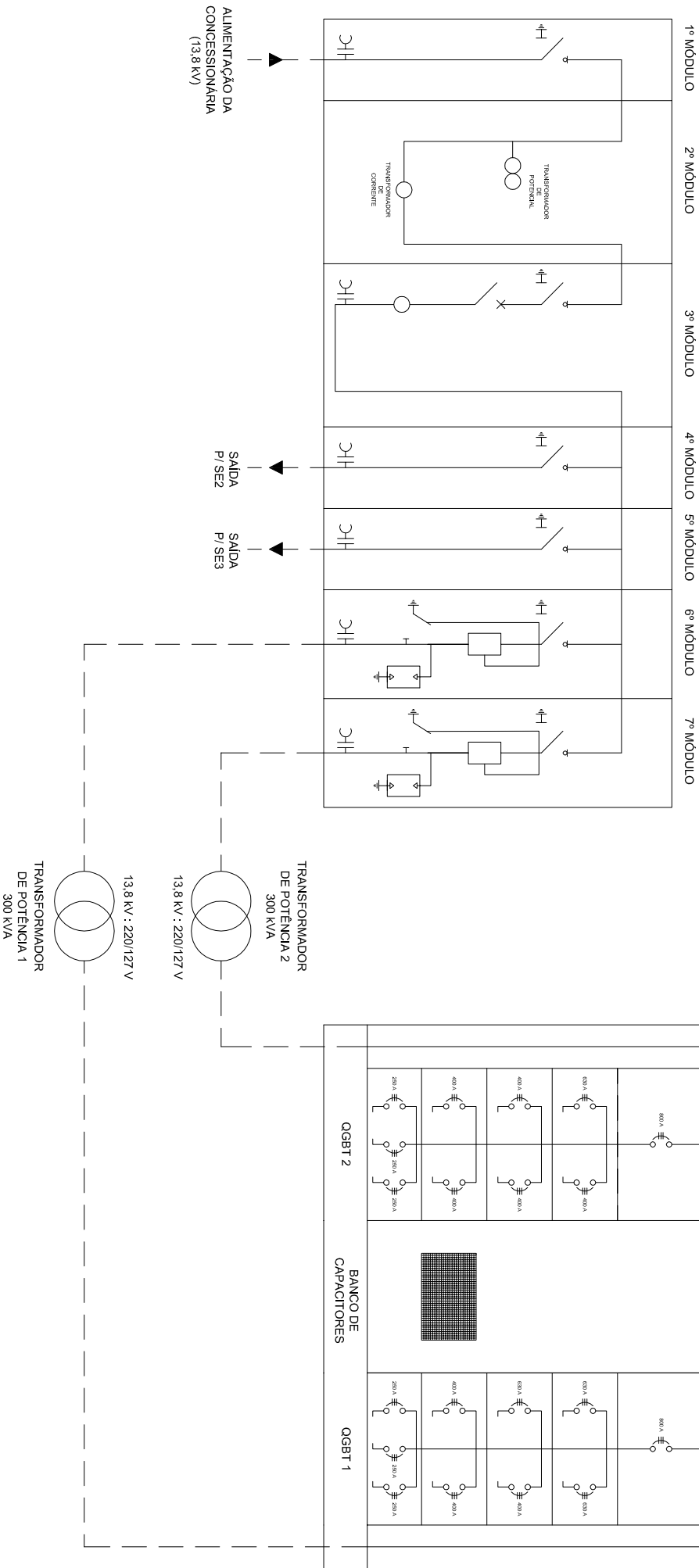
projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA BAIXA DA SUBESTAÇÃO MODERNIZADA - LEGENDA	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO III.A



projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA BAIXA DA SUBESTAÇÃO MODERNIZADA	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO IIIA

PAINEL DE BAIXA TENSÃO

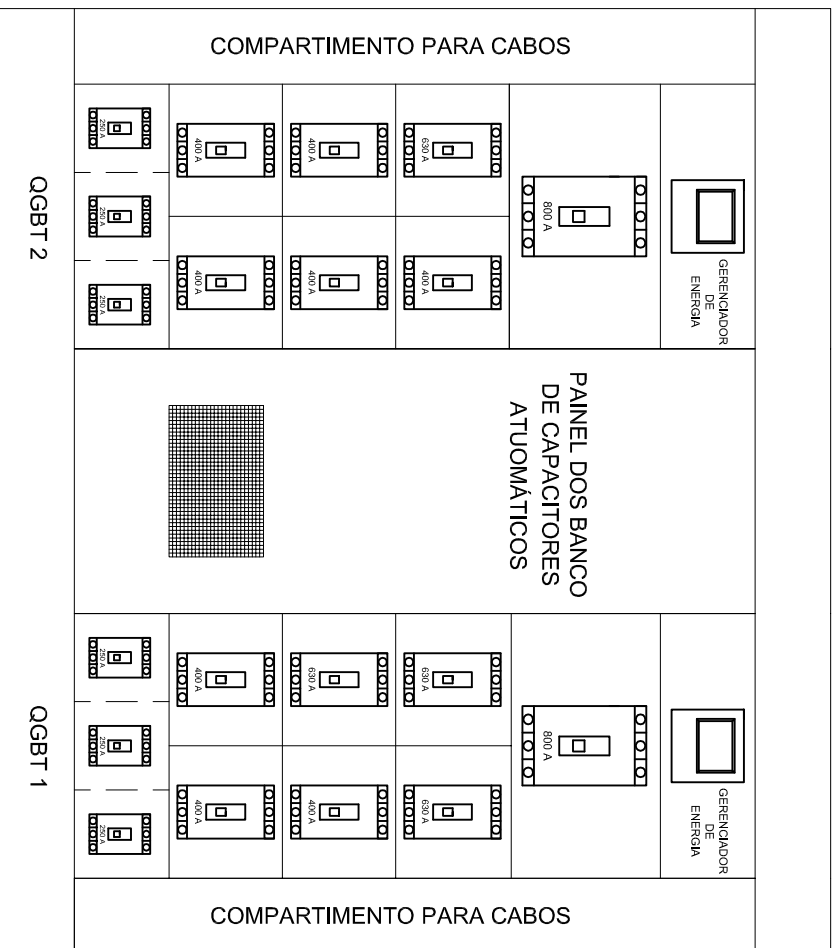
PAINEL BLINDADO DE MÉDIA TENSÃO



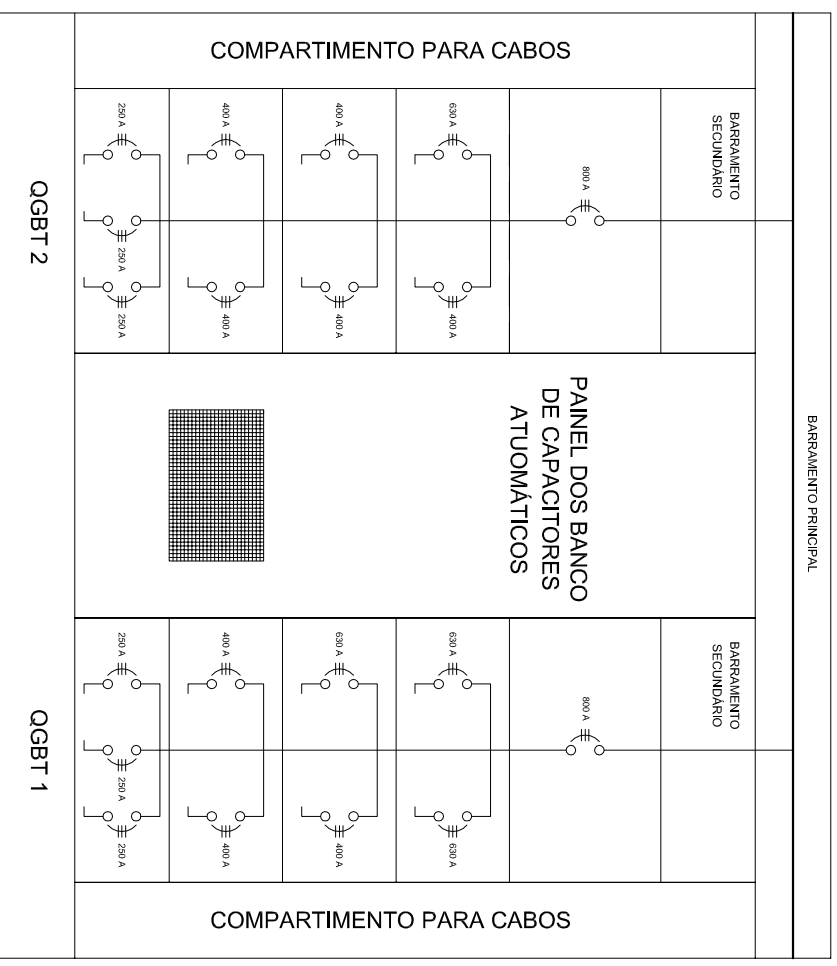
Projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	DIAGRAMA UNIFILAR DA SUBESTAÇÃO MODERNIZADA		
desenhista	RENAVIO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO III.B

27/08/2012




## PAINEL GERAL DE BAIXA TENSÃO - VISÃO FRONTAL



## PAINEL GERAL DE BAIXA TENSÃO - DIAGRAMA UNIFILAR



projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PANEL GERAL DE BAIXA TENSÃO - SUBESTAÇÃO MODERNIZADA		
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	1:1
			prancha
			ANEXO III, C

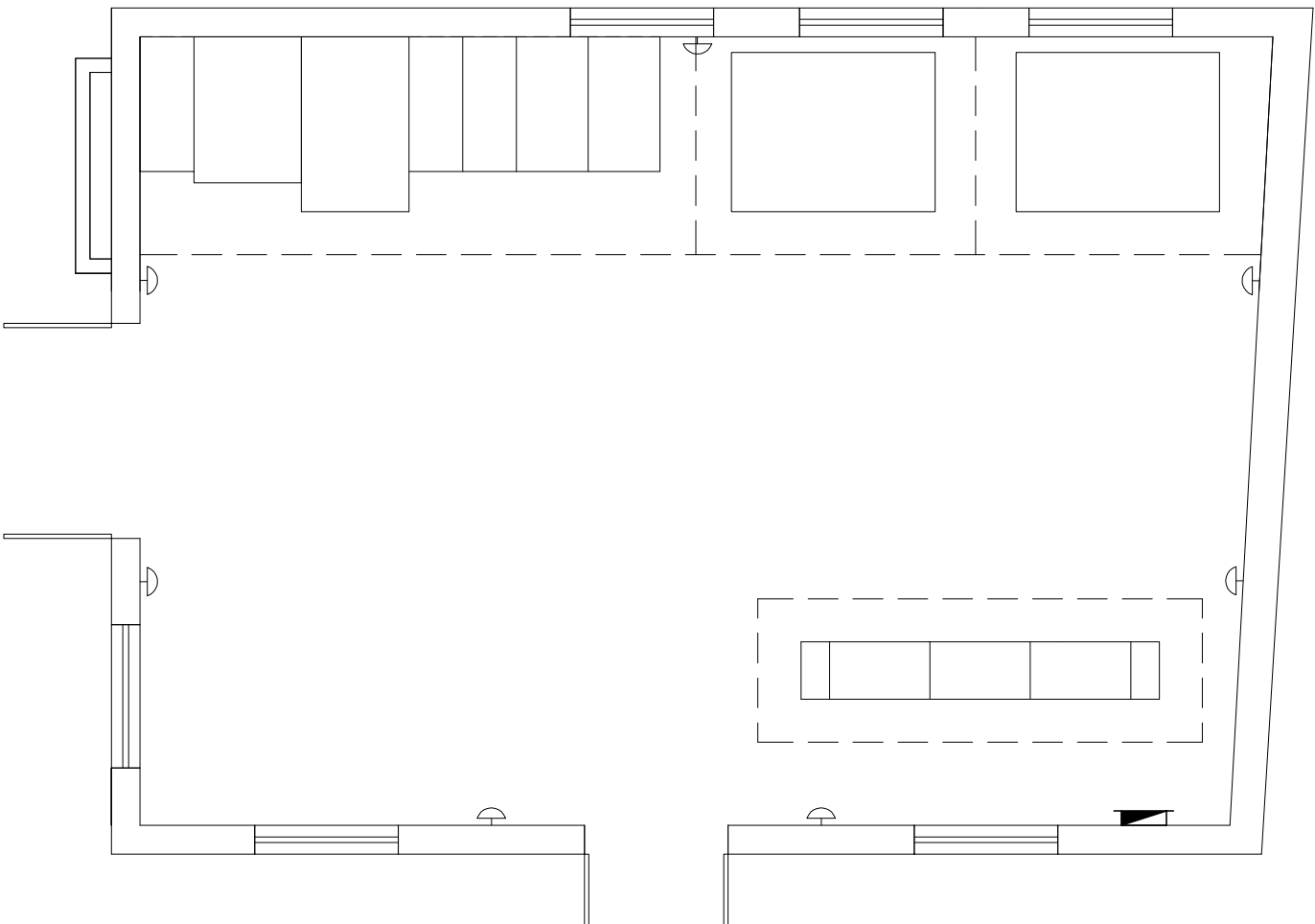
LEGENDA	
	Haste de aterramento de aço-cobreado $\frac{3}{4}$ "
	Caixa de inspeção, 32x32 cm
	Cordoalha de cobre nú 50 mm² enterrada no solo

**NOTAS:**

- Hastes de aterramento revestidas de aço-cobreado em alta camada, diâmetro de  $\frac{3}{4}$ " e comprimento de 3 metros.
- Caixa de inspeção de aterramento em cimento agregado, 32x32 cm, com tampa de ferro fundido.
- Cordoalha de cobre nú de 50 mm² para interligação das hastes de aterramento.
- Cordoalha de cobre nú de 35 mm² para interligação das massas da subestação à malha de aterramento.



Projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTAÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	SISTEMA DE ATERRAMENTO	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	1/75
		prancha	ANEXO III.D



## LEGENDA

	Quadro de distribuição de embutir para 6 disjuntores monopolares, instalado a 1,2 m do piso
	Luminária do tipo "tartaruga" para lâmpada fluorescente compacta 45 W, instalada a 1,8 m do piso
	Fita de demarcação de solo, na cor amarela

### NOTAS:

- 7 luminárias do tipo "tartaruga" para lâmpada fluorescente compacta de 45 W;
- Quadro de distribuição para 6 disjuntores monopolares, com barramento de neutro e terra;
- Fita adesiva para demarcação dos equipamentos no piso isolante;

Projeto	PROJETO FINAL - PROJETO DE MODERNIZAÇÃO DE SUBESTÇÃO CONSUMIDORA		
desenho	PLANTA DO POSICIONAMENTO DAS LUMINÁRIAS	data	27/08/2012
desenhista	RENATO DE CARVALHO FRANÇA	escala	S/ ESCALA
		prancha	ANEXO III.E